



DemSSO

PROGRAMA DOUTORAL EM SEGURANÇA
E SAÚDE OCUPACIONAIS

Tese apresentada para obtenção do grau de Doutor em
Segurança e Saúde Ocupacionais
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Avaliação da perda de transmissão acústica na parede abdominal e efeito protetor para o feto

Maurília de Almeida Bastos

Orientador: **José Castela Torres Costa**

Médico especialista em Medicina do Trabalho

Professor da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Portugal

Docente do Programa Doutoral em Segurança Ocupacional da Universidade do Porto, Portugal

Coorientadora: **Carla Ramalho**

Médico especialista em Obstetrícia e Ginecologia, Centro Hospitalar São João, Porto, Portugal

Professor da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto, Portugal

Coorientador: **Erasmus Felipe Vergara Miranda**

Doutor em Engenharia Mecânica, Pesquisador, linha de pesquisa: controlo de ruído e vibrações.

Professor da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil



Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Rua Dr. Roberto Frias, s/n 4200-465 Porto PORTUGAL

VoIP/SIP: feup@fe.up.pt

ISN: 3599*654



Telephone: +351 22 508 14 00



Fax: +351 22 508 14 40



URL: <http://www.fe.up.pt>



Correio Electrónico: feup@fe.up.pt

Presidente do Júri:

Doutora Olívia Maria de Castro Pinho, Professora Catedrática da Faculdade de Ciências da Nutrição e Alimentação da Universidade do Porto

Vogais:

Doutor António Jorge Correia de Gouveia Ferreira, Professor Auxiliar da Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra (Arguente);

Doutor Nelson Bruno Martins Marques Costa, Professor Auxiliar do Departamento de Produção e Sistemas da Escola de Engenharia da Universidade do Minho (Arguente);

Doutora Maria Constança Leite de Freitas Paúl Reis Torgal, Professora Catedrática do Instituto de Ciências Biomédicas Abel Salazar da Universidade do Porto;

Doutor Renato Manuel Natal Jorge, Professor Associado com Agregação da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; e

Doutor José Castela Torres Costa, Professor Auxiliar Convidado da Faculdade de Medicina da Universidade do Porto (Orientador).

“Liberdade é uma palavra que o sonho humano alimenta, não há ninguém que explique e ninguém que não entenda.”

Cecília Meireles

AGRADECIMENTOS

Início meus agradecimentos à minha família pelo apoio e incentivo em todas as decisões ao longo desta jornada, vibrando a cada conquista. Ao meu filho Matheus pela compreensão pela situação que ultrapassou fronteiras e o oceano. Aos meus irmãos pelo incentivo. *In memoriam* à minha irmã Dalva pelo exemplo e dedicação para realização da base deste sonho, através de suas filhas. Todos congregaram os ensinamentos familiares e propiciaram-me a tranquilidade necessária para permanecer na acolhedora cidade do Porto.

Ao Professor Torres Costa pela compreensão, confiança e atenção ao longo deste período de orientação desta pesquisa. À Professora Carla Ramalho pelas incansáveis leituras e orientações essenciais ao tema. Ao Professor Felipe Vergara que não mediu esforços para vencer as barreiras de fronteiras para transmitir seus preciosos ensinamentos e apoio, de modo que este projeto tomasse forma e deslumbrássemos os resultados palpáveis para fechamentos do trabalho.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina (IFSC), por conceder o afastamento temporário dos afazeres de docência, pelo período imprescindível para a conclusão de algumas práticas e enclausuramento necessário para a escrita.

À médica ultrassonografista Pamera Sandra Granja de Abreu pela disponibilidade em efetuar as medições da parede abdominal nas mulheres grávidas.

Aos Professores Mário Vaz e Renato Natal por colocarem-me em contato com Bruno Areias e assim poder aprender e desenvolver as simulações em MEF.

À Célia Ferreira por ter compartilhado sua barriga de grávida em prol da minha pesquisa.

Ao Prof. Santos Baptista e Joana Guedes pelos incansáveis incentivos e contribuição para que eu não me sentisse longe de casa diante de situações de abalo da saúde e saudade.

Aos amigos que fiz no DemSSO, os quais me acolheram e compartilharam-me seus dias na pesquisa, o meu agradecimento.

Finalizo com um trecho da música “*Canção da América*”, do compositor brasileiro Milton Nascimento, que diz: “*Amigo é coisa para se guardar debaixo de sete chaves, dentro do coração. [...] Amigo é coisa para se guardar no lado esquerdo do peito. [...] qualquer dia amigo eu volto a te encontrar [...]*”. Um dia, tenho certeza do encontro pelas esquinas traçadas ao acaso. Mais uma vez, muito obrigada a todos!

RESUMO

Todo ambiente de trabalho requer ações que ofereçam ambientes seguros. Se para a maioria dos trabalhadores é importante que o desempenho profissional ocorra em ambientes em que a sua saúde esteja protegida, e os perigos existentes tenham uma tradução de riscos zero, ou perto disso. Para mulheres grávidas, estes objetivos devem ser obtidos de forma bem mais determinada. Ao pensar nestes ambientes surge a preocupação acrescida quando os cuidados recaem sobre a mulher grávida. Durante a gravidez, a mulher e o feto estão expostos às condicionantes de trabalho que a atividade impõe, tais como: ruído, temperatura, vibração, estresse emocional, entre outras. No presente trabalho tivemos como objetivo avaliar a grávida a um destes riscos, o ruído ocupacional e verificar se a perda de transmissão acústica pela parede abdominal tem efeito protetor para o feto humano. Para a avaliação utilizou-se como fonte geradora o ruído no habitáculo de veículo automóvel. A escolha desta fonte de ruído encontra justificção no crescente papel que indivíduos do gênero feminino têm neste mercado de trabalho. A pesquisa dividiu-se em quatro etapas. A primeira etapa consistiu na avaliação do nível de pressão sonora no habitáculo de veículo automóvel, para caracterizar a exposição potencial ao ruído dos ocupantes dos veículos. Foram realizadas as recolhas de dados em cinco veículos, que percorram quatro pavimentos diferentes a velocidade de 50 a 60 km/h. A segunda etapa consistiu da medição da espessura da parede abdominal de mulheres grávidas. O biótipo de mulher grávida foi inicialmente estabelecido mediante critérios de idade, peso, altura, idade gestacional. As medições foram realizadas por médica ultrassonografista, durante os exames ecográficos morfológicos. A terceira etapa correspondeu à aplicação do modelo analítico (através de três meios) para obter o valor da perda de transmissão sonora (PTS) pela parede abdominal. E para comparar ao modelo analítico, a etapa 4 correspondeu a aplicação de simulações pelo método de elementos finitos (MEF) para avaliação da PTS. Os valores obtidos na avaliação do ruído interno nos veículos automóveis foram aplicados um modelo analítico e a simulações pelo MEF, para o espectro de frequência em bandas de oitava de 16 Hz a 16 kHz. As espessuras auxiliaram na modelagem das figuras geométricas representativas para a aplicação nos modelos. Foram realizadas as análises analíticas e por MEF com a variação das espessuras da parede abdominal em 2D e 3D. Os resultados obtidos com relação ao ruído no interior dos habitáculos foram que os NPS acima de 80 dB não tiveram muitas ocorrências para as frequências acima de 250 Hz. As maiores ocorrências superiores a 80 dB foram para as frequências abaixo de 250 Hz. As espessuras de parede abdominal variaram de 1,13 cm a 10,99 cm. E a perda de transmissão sonora girou em torno de 29,7 dB na maioria dos casos, na faixa entre 16 Hz a 16 kHz. A parede abdominal é um excelente atenuador acústico.

Palavras-chave: **exposição ao ruído, perda de transmissão acústica, parede abdominal, período gestacional.**

ABSTRACT

All workplace requires actions than provide safe environments. If for most workers is important that the professional performance occurs in environments where their health is protected and the dangers have a reduced risk zero or close to that. For pregnant, these objectives should be obtained in a much more determined manner. Thinking about these environments that arises concerns when the worker is a pregnant woman. During pregnancy the woman and the fetus are exposed to working conditions that activity imposes, such as noise, temperature, vibration, emotional stress, among others. This study aims to evaluate the loss of acoustic transmission through the abdominal wall in pregnant woman and protective effect on the human fetus. In this study our objective was to evaluate the pregnant one of these risk, the occupational noise and check whether the loss of acoustic transmission through the abdominal wall has a protective effect on the human fetus. For evaluation was used as source of noise in the vehicle's cabin. The choice of this noise source is justified by the growing role of females individuals have in this job market. The research was divided into four steps. The first step consisted of the evaluation of the level of sound pressure in the vehicle's passenger compartment, to characterize the potential noise exposure of occupants in vehicles. The data collections were measured in five vehicles, they traveled four different pavements with speed between 50 to 60 km/h. The second step consisted in the measurement of the thickness of the abdominal wall of pregnant women. The pregnant woman biotype was first established by criteria of age, height, weight, gestational age. The measurements were conducted by sonographer doctor during the morphological echographic examinations. The third step corresponded to the application of the analytical model (through three media) to obtain the value of the sound transmission loss (STL) through the abdominal wall. The fourth step corresponded to the application the simulations of the finite element method (FEM) to evaluate the STL. The third and fourth steps consisted of the values obtained in vehicles applied in the analytical model and the simulations of the finite element method (FEM), to the frequency spectrum into octave bands between 16 Hz to 16 kHz. The thicknesses assisted in the modeling of the representatives geometrics figures to the application in the models. The analyticals analyzes and FEM were made by with variation of the thickness of the abdominal wall in 2D and 3D. The results obtained in relation to the interior noise in the passenger compartment indicated that the SPL above 80 dB and there were not many occurrences to frequencies above 250 Hz. The largest occurrences above 80 dB were to frequencies below 250 Hz. The abdominal wall thicknesses varied between 1.13 to 10.99 cm. The sound transmission loss ranged around 29.7 dB in most of the cases, in the range between 16 and 16 kHz. The abdominal wall is an excellent acoustic attenuator.

Keywords: noise exposure, sound transmission loss, abdominal wall, pregnancy.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. ESTADO DA ARTE	7
2.1 Revisão de conceitos	7
2.1.1 Acústica.....	7
2.1.2 Percepção do som pelo ouvido humano	14
2.1.3 Transmissão sonora através de dois meios.....	15
2.1.4 Transmissão sonora através de três meios.....	19
2.1.5 O líquido amniótico.....	26
2.1.6 Período de desenvolvimento do sistema auditivo fetal.....	27
2.1.7 Parede abdominal da mulher grávida	27
2.1.8 Veículo automóvel	29
2.2 Revisão Bibliográfica.....	35
3. OBJETIVOS	45
3.1 Objetivo da Tese	45
3.2 Objetivos específicos	45
4. MATERIAIS E MÉTODOS	47
4.1 E1: avaliação do ruído interno em habitáculo de veículo automóvel	47
4.1.1 Os veículos automóveis.....	48
4.1.2 Equipamento sonómetro.....	52
4.1.3 Pavimentos e recolha de dados.....	53
4.2 E2: Avaliação da espessura da parede abdominal de uma mulher grávida	58
4.2.1 Idade das mulheres grávidas.....	59
4.2.2 Índice de Massa Corporal (IMC).....	60
4.2.3 Medição da espessura da parede abdominal.....	61
4.3 E3: Análise por modelo analítico da PTS: através de três meios	65
4.3.1 Nível de pressão sonora transmitido no meio 3, NPS	67
4.4 E4: análise da PTS por simulação através do MEF.....	68
4.4.1 Definição para MEF	69
4.4.2 Simulação MEF em 2D	70
4.4.3 Simulação MEF em 3D	72
5. RESULTADOS	75
5.1 Resultados da avaliação de ruído interno no habitáculo de veículo automóvel	75
5.2 Resultados: medições da espessura da parede abdominal	76

5.3	PTS para a situação Ar/PA/LiqAmn, método analítico através de três meios (2D).....	77
5.4	Aplicação da Lei da Massa	78
5.4.1	PTS para situação Ar/PA/Ar, através do método três meios	79
5.4.2	PTS para situação Ar/PA/Ar, simulações MEF em 2D	80
5.5	PTS: método de elementos finitos (MEF).....	80
5.5.1	PTS, através de simulações MEF meio 2: único (2D).....	80
5.5.2	PTS, através de simulações MEF meio 2: todas as camadas (2D)	82
5.5.3	PTS, através de simulações MEF meio 2: único (3D).....	83
5.5.4	PTS, através de simulações MEF meio 2: todas as camadas (3D)	84
6.	INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	87
6.1	Interpretação dos resultados da Etapa 1: ruído interno no habitáculo de veículo automóvel.....	87
6.1.1	Análise comparativa dos resultados da medição	87
6.1.2	Análise estatística dos resultados da medição	89
6.2	Interpretação dos resultados: espessuras da parede abdominal	94
6.3	Lei da Massa	95
6.3.1	PTS para a situação Ar/PA/Ar, através modelo analítico três meios (2D)	97
6.3.2	PTS para a situação Ar/PA/Ar, através MEF: PA única (2D).....	99
6.4	Interpretação dos resultados de PTS - Ar/PA/LiqAmn: método analítico	99
6.5	Interpretação dos resultados de PTS - Ar/PA/LiqAmn: método de elementos finitos (MEF)	102
6.5.1	PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D (meio 2: único).....	102
6.5.2	PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D (meio 2: todas as camadas)	107
6.5.3	PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D (meio 2: única)	112
6.5.4	PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D (meio 2: todas as camadas)	117
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
8.	CONCLUSÃO.....	129
	REFERÊNCIAS.....	131
	APÊNDICES.....	135
	Apêndice 1	137
	Apêndice 2	149
	Apêndice 3	153
	Apêndice 4	157
	Apêndice 5	163

Índice de figuras

Figura 1: Interfaces entre setores de estudos acústicos, diagrama proposto por Lindsay.	8
Figura 2: Tipos de ondas sonoras em meio sólido.	9
Figura 3: Comportamento de propagação das ondas sonoras de baixa e alta frequência.	10
Figura 4: Espectro do som.	10
Figura 5: Nível de pressão sonora compreendidas entre o limiar da audição e o limite da dor	12
Figura 6: Processamento das ondas sonoras pelo ser humano.	14
Figura 7: Curvas de ponderação de respostas do ouvido (Curvas A, B, C e D).	15
Figura 8: Reflexão e transmissão de uma onda sonora plana, com incidência normal, sobre a interface MN.	16
Figura 9: Reflexão e transmissão de uma onda sonora plana através de três meios.	19
Figura 10: Coeficiente de transmissão sonora através de placas com diferentes características.	22
Figura 11: Comprimento de onda para diferentes frequências acústicas, pela espessura do meio 2	23
Figura 12: Curva típica de perda de transmissão sonora (PTS) para parede simples	26
Figura 13: Anatomia abdominal da mulher grávida.	28
Figura 14: Interação entre condutor/veículo/estrada.	30
Figura 15: Desenvolvimento de limites de emissão de ruído ao longo dos anos.	32
Figura 16: Adaptação da audição humana, desafios para engenharia acústica.	32
Figura 17: Fontes de ruído no veículo automóvel.	34
Figura 18: Fluxograma, metodologia PRISMA.	36
Figura 19: Fluxograma, metodologia PRISMA.	40
Figura 20: Fluxograma da aplicação metodológica de pesquisa	47
Figura 21: Localização da cidade de Florianópolis, Brasil.	48
Figura 22: Sonómetro utilizado na medição do ruído interno nos habitáculos dos veículos automóveis.	52
Figura 23: Calibrador acústico	53
Figura 24: Mapa de localização dos trajetos de pavimento em lajota e paralelo (sem escala)	55
Figura 25: Mapa de localização dos trajetos de pavimento em lajota e paralelo (sem escala)	55
Figura 26: Posicionamento do medidor do nível de pressão sonora.	56
Figura 27: Resumo dos registos de Leq nos habitáculos dos veículos	57
Figura 28: Localização da Clínica Imaged, Joinville/SC, Brasil.	58
Figura 29: Distribuição relativa (%) das taxas de fecundidade no Brasil, para os períodos de 2000/2010.	59
Figura 30: Taxa de fecundação por grupo etário em Portugal. Fonte: adaptado de INE (2014)	60
Figura 31: Localização da região supra umbilical (RSU) e infra umbilical (RIU).	62
Figura 32: Reflexão da onda no equipamento de ultrassom na parede abdominal.	62
Figura 33: Imagem de uma das medições, pela região RSU	63
Figura 34: Imagem de uma das medições, pela região RIU	63
Figura 35: Imagem da medição da distância entre a superfície da pele e o ouvido do feto.	64
Figura 36: Resumo do procedimento de medição das camadas da parede abdominal	65
Figura 37: Transmissão da onda sonora através de três meios, em 2D.	66
Figura 38: Diferentes formas geométricas de elemento finito.	68

Figura 39: Transmissão da onda sonora pela parede abdominal, Meio 2 sem divisões, simulação por MEF..	71
Figura 40: Transmissão da onda sonora pela parede abdominal 2D, simulação por MEF (todas camadas)	72
Figura 41: Digitalização da barriga de uma mulher grávida, através do Scanner 3D.	73
Figura 42: Transmissão da onda sonora pela parede abdominal 3D, Meio 2 com as camadas, simulação por MEF	73
Figura 43: Número de avaliações realizadas da perda de transmissão sonora (PTS)	74
Figura 44: Nível global de pressão sonora equivalente (Leq Global) dos veículos em comparação ao pavimento.....	87
Figura 45: Nível de pressão sonora equivalente (Leq), dB, para frequência na faixa de 2 0Hz a 16 kHz, dos veículos V1, V2 e V3 nos diferentes pavimentos.	88
Figura 46: Nível de pressão sonora equivalente (Leq), dB, para frequência na faixa de 2 0Hz a 16 kHz, dos veículos V4 e V5 nos diferentes pavimentos.	89
Figura 47: Distribuição dos valores de Leq [dB] medidos nos veículos	93
Figura 48: Medição do ruído interno no habitáculo de um veículo a velocidade de 70 km/h e pavimento de asfalto.....	94
Figura 49: PTS e frequências críticas por espessura, para os meios Ar/PA/Ar pela aplicação da Lei da Massa	96
Figura 50: PTS: análise analítica, através de três meios, para Ar/PA/Ar	97
Figura 51: ≠ PTS: análise através de três meios, para Ar/PA/Ar (extrapolação da frequência)	98
Figura 52: ≠ PTS através de MED simulação 2D, para Ar/PA/Ar	99
Figura 53: PTS: análise através de 3 três meios, para Ar/PA/LiqAmn	100
Figura 54: PTS: MEF simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (único), dos Veículos 1 e 2 por pavimento	103
Figura 55: PTS: MED simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (único), dos Veículo 3, 4 e 5 por pavimento	104
Figura 56: PTS: MEF simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), dos Veículos 1, 2 e 3 por pavimento.....	108
Figura 57: PTS: MEF simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), dos Veículos 4 e 5 por pavimento.....	109
Figura 58: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (único), Veículo 1 por pavimento	112
Figura 59: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (único), dos Veículos 2, 3 e 4 por pavimento ...	113
Figura 60: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (único), Veículo 5 por pavimento	114
Figura 61: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), Veículo 1 por pavimento...	117
Figura 62: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), dos Veículos 2, 3 e 4 por pavimento.....	118
Figura 63: PTS: MED simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), Veículo 5 por pavimento ..	119
Figura 64: Propagação da onda pelo meio.	124
Figura 65: PTS: simulação 3D, menor espessura para a frequência de 16 kHz (parte interna da PA)	125
Figura 66: PTS: simulação 3D, espessura média para a frequência de 16 kHz (parte interna da PA)	125
Figura 67: PTS: simulação 3D, maior espessura para a frequência de 16 kHz (parte interna da PA).....	126

Índice de Tabelas

Tabela 1: Evolução científica dos estudos a respeito da exposição ao ruído	2
Tabela 2: Aumento de veículos em circulação de 2010 a 2014.....	5
Tabela 3: Pressão sonora e níveis de pressão sonora de sons quotidianos	13
Tabela 4: Resultados monitoramento com hidrofones em mulheres grávidas.....	28
Tabela 5: Conceitos e teorias de efeitos dos ruídos e vibração (sobreposição parcial)	33
Tabela 6: Informações sintetizadas extraídas das publicações selecionadas na revisão sistemática	36
Tabela 7: Informações sintetizadas extraídas das publicações selecionadas na revisão sistemática (Cont.) ..	37
Tabela 8: Informações das publicações referentes à exposição ao ruído interno dos automóveis.....	40
Tabela 9: Identificação das metodologias.....	41
Tabela 10: Ranking dos números de matrículas acumuladas, atribuídas por marcas de veículos, entre os anos 2009 a 2013 e janeiro a março/2014, no Brasil.	49
Tabela 11: Ranking dos números de matrículas acumuladas, atribuídas por marca/modelo de veículos, entre os anos 2009 a 2013 e janeiro a março/2014, no Brasil.	49
Tabela 12: Especificações das categorias para veículos automóveis no Brasil	50
Tabela 13: Características dos veículos automóveis.....	50
Tabela 14: Características dos pneus	51
Tabela 15: Veículos automóveis e seus detalhes de pneus e proteção de motor.	51
Tabela 16: Descrição das especificações do sonómetro	52
Tabela 17: Pavimentação das superfícies	53
Tabela 18: Dados gerais dos trajetos submetidos às recolhas de dados na cidade de Florianópolis/SC, Brasil.	54
Tabela 19: Condições climáticas dos dias em que foram efetuadas as recolhas de dados.....	56
Tabela 20: Características da mulher grávida para submissão às medições.	61
Tabela 21: Densidade, velocidade do som e impedância acústica das camadas do Meio 2	66
Tabela 22: Resultados gerais das amostragens, por pavimento e a performance dos veículos.....	75
Tabela 23: Leq [dB] de cada veículo em cada pavimento, por frequência central de banda de oitava.....	76
Tabela 24: Variação de espessura das camadas da parede abdominal de mulheres grávidas	76
Tabela 25: Velocidade do som no Meio 3 (líquido amniótico) para diferentes espessuras	77
Tabela 26: Perda de transmissão sonora (PTS), para Ar/PA/LiqAmn, menor espessura (analítico: 3 meios) ..	78
Tabela 27: Perda de transmissão sonora (PTS), para os meios Ar/PA/Ar com aplicação da Lei da Massa	79
Tabela 28: Perda de transmissão sonora (PTS), para Ar/PA/Ar para as espessuras.	79
Tabela 29: Perda de transmissão sonora (PTS), para Ar/PA/Ar, simulação 2D, MEF ($P_i = 1[\text{Pa}]$).	80
Tabela 30: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D, meio 2: único, por pavimento/veículo/espessura PA ..	81
Tabela 31: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D, meio 2: todas as camadas, pavimento/veículo/espessura PA.....	82
Tabela 32: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D, meio 2: único, por pavimento/veículo ($P_i = \text{veículo} [\text{Pa}]$).....	83

Tabela 33: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D, meio 2: todas as camadas, por pavimento/veículo (P_i =veículo[Pa])	84
Tabela 34: Análise descritiva dos Leq registados nos habitáculos dos veículos automóveis	90
Tabela 35: Análise inferencial (ANOVA) dos dados ruído nos habitáculos dos veículos automóveis	91
Tabela 36: Teste de Tukey para os dados de ruído nos habitáculos dos veículos automóveis, tratamento Veículo	91
Tabela 37: Teste de Tukey para os dados ruído de nos habitáculos dos veículos automóveis, tratamento Pavimento	92
Tabela 38: Teste de Tukey para os dados de ruído nos habitáculos dos veículos automóveis, tratamento Frequência	92
Tabela 39: Espessura da parede abdominal (PA) de mulheres grávidas adotadas.	95
Tabela 40: Frequências críticas correspondentes às espessuras (menor, média e maior)	96
Tabela 41: Cálculo do $k2\ell$, por frequência banda de oitava (16 Hz a 16 kHz), correspondentes à espessura. 98	
Tabela 42: Análise descritiva, dos resultados do método analítico através de três meios (2D)	101
Tabela 43: Análise inferencial (ANOVA), dos resultados do método analítico através de três meios (2D) ..	101
Tabela 44: Teste de Tukey, dos resultados do método analítico através de três meios (2D)	102
Tabela 45: Análise descritiva, dos resultados MEF (2D), meio 2: espessura única	105
Tabela 46: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (2D), meio 2: espessura única	106
Tabela 47: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (2D), meio 2: espessura única	106
Tabela 48: Análise descritiva, dos resultados MEF (2D), meio 2: com as divisões das camadas	110
Tabela 49: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (2D), meio 2: com as divisões das camadas	110
Tabela 50: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (2D), meio 2: com as divisões das camadas	111
Tabela 51: Análise descritiva, dos resultados MEF (3D), meio 2: espessura com as divisões das camadas .	115
Tabela 52: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (3D), meio 2: espessura única	115
Tabela 53: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (3D), meio 2: espessura única	116
Tabela 54: Análise descritiva, dos resultados MEF (3D), meio 2: com as divisões das camadas	120
Tabela 55: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (3D), meio 2: com as divisões das camadas	120
Tabela 56: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (3D), meio 2: com as divisões das camadas	121
Tabela 57: Resumo das avaliações de PTS [dB] na PA, aplicadas pelos métodos analítico e por MEF	122

Siglas

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.	Antes de Cristo
ANOVA	Análise de Variância
Ar/PA/Ar	Meios: Ar /Parede Abdominal / Ar
Ar/PA/LiqAmn	Meios: Ar /Parede Abdominal / Líquido Amniótico
DemSSO	Programa Doutoral em Segurança e Saúde Ocupacionais
FENABRAVE	Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores
dB	Decibel(éis)
dB(A)	Decibel(éis) ponderado(s) na curva A
2D	Duas dimensões
3D	Três dimensões
EUA	Estados Unidos da América
FEM	Finite element method
FENABRAVE	Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I-INCE	International Institute of Noise Control Engineering
IMC	Índice de Massa Corporal
INE	Instituto Nacional de Estatística (Portugal)
Leq	Nível de pressão sonora equivalente
Leq Global	Nível equivalente global
L_i	Nível de pressão sonora incidente
L_t	Nível de pressão sonora transmitida
Log	Logaritmo na base 10
MEF	Método de elementos finitos
NE	Número de elementos finitos
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma MERCOSUL
NPS ou L	Nível de pressão sonora
OICA	Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles
OMS	Organização Mundial de Saúde
P	Pressão sonora

pH	Potencial hidrogeniônico
PA	Parede abdominal
PTS	Perda de transmissão sonora
RIU	Região infra umbilical
RS	Revisão sistemática
RSU	Região supra umbilical
SI	Sistema Internacional de unidades
STL	Sound transmission loss
TE	Tamanho do elemento finito, em metros
T	Período
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
WHO	World Health Organization (Organização Mundial de Saúde)
WP- NERV	Working Party on Noise Emissions of Road Vehicles
f	Frequência [Hz]
s	Segundos
ω	Frequência angular [rad/s]
λ	Comprimento de onda
α_t	Coefficiente de transmissão acústica
ρ	Densidade do meio
c	Velocidade do som no meio
$\rho_1 c_1$	Impedância no meio 1
$\rho_2 c_2$	Impedância no meio 2
$\rho_3 c_3$	Impedância no meio 3
x	Percurso da onda
k	Número de ondas
Hz	Hertz
kHz	Quilohertz
Pa	Pascal
mg/L	Miligrama por litro
mEq/L	Miliequivalente por litro
cm	Centímetro
m	Metros
mm	Milímetro

rad/s	Radianos por segundo
ppm	Parte por milhão
g.cm ⁻³	Grama por centímetro cúbico
m.s ⁻¹	Metro por segundo
kg.m ⁻³	Quilograma por metro cúbico
N.m ⁻²	Newton por metro quadrado
2D	Em duas dimensões
3D	Em três dimensões

1. INTRODUÇÃO

Todo ambiente de trabalho requer ações que ofereçam ambientes seguros. Se para a maioria dos trabalhadores é importante que o desempenho profissional ocorra em ambientes em que a sua saúde esteja protegida, e os perigos eminentes tenham uma tradução de riscos zero, ou perto disso. Sendo assim, a temática de exposição ocupacional nos ambientes laborais, proporcionam às pessoas o contato como os agentes físico/químicos, a meta do presente estudo quer a obtenção de contributo para o desenvolvimento científico.

Como a abordagem deste estudo é a exposição ao ruído, inicia-se a contextualização da temática com a informação do relatório publicado em 2015 pela Organização Mundial de Saúde (OMS) WHO (2015, 4), onde afirma que é recorrente a exposição ao ruído de diversos setores produtivos, na atualidade estendeu-se a outros ambientes, como o doméstico e o do lazer em geral. Segundo a WHO (2015), a exposição ao ruído nos ambientes de trabalho persiste por haver um conhecimento muito parco por parte das entidades empregadoras, bem como das pessoas expostas, sobre os efeitos decorrentes desta exposição.

A OMS sustenta uma estimativa a cerca de um bilião de jovens em todo o mundo, que apresentam um estilo de vida com risco para a capacidade auditiva, resultante da adoção de práticas de lazer de risco. Em países de produto interno bruto alto ou médio, cerca de metade dos jovens na faixa etária entre os 12 e os 35 anos estão expostos a níveis elevados de ruído, pela utilização quase permanente de dispositivos pessoais de áudio, e entre os adolescentes de idade compreendidas entre os 12 e os 19 anos, tem-se vindo a observar um aumento significativo da prevalência de perturbações auditivas (WHO 2015).

A OMS refere-se ainda, que se observa um aumento na prevalência de adolescentes com perturbações auditivas de 3,5% para 5,3% entre 1990 e 2006, e que 75% das pessoas que utilizam equipamentos de áudio individuais para a audição de música, apresentam uma redução significativa da sua capacidade auditiva (WHO 2015).

Diante da problemática de perda significativa da capacidade auditiva, apresenta-se um breve histórico de alguns registos das questões dentro da perspectiva histórica (Tabela 1). Os registos listados na Tabela 1 estão relacionado com situações de exposição de pessoas ao ruído, de acordo com destaques da publicação de Almeida et al. (2000). A

referida tabela apresenta a história da perda auditiva ocupacional provocada por ruído, identificadas pelos autores, e mostra a relevância da temática ao longo da trajetória do desenvolvimento do conhecimento na área de acústica.

Tabela 1: Evolução científica dos estudos a respeito da exposição ao ruído

Ano	Pesquisador	Publicação	Descrição
1890	J. Habermann	Ueber die chwerhörigkeit der kesselschmiede. <i>Archiv für Ohrenheilkunde</i> , 30:1-25, 1890.	Descreveu achados anatomopatológicos detectados na cóclea e nervo coclear de caldeireiros.
1907	D. Wittmack	Über schädigung des gehörs durch Schalleinwirkung. <i>Z. Ohrenheilkunde</i> 54:37-80, 1907.	Inicia os estudos experimentais realizados com animais em laboratórios
1928	E. P. Fowler	Marked deafened areas in normal ears. <i>Archives of Otolaryngology</i> , 151-155, 1928.	Iniciou as investigações com a utilização do audiômetro. Dos estudos de Fowler originou a famosa Tabela de Fowler
1933	J. Temkin	Die Schädigung des ohres durch Lärm und Erschütterung. <i>Monatschrift für Ohrenheilkunde und Laringo-rhinologie</i> 67:257, 1933.	Indica a existência histofisiológica de uma área de audibilidade situada na cóclea mais suscetível à ação do ruído
1937	C. C. Bunch	Bunch, C.C. The diagnosis of occupational or traumatic deafness. A historical and audiometric study. <i>The Laryngoscope</i> 47:615-691, 1937.	Efetuoou um estudo que definiu as características auditivas e clínicas das disacusias induzidas pelo ruído em trabalhadores.
1947	AMA American Medical Association	Council on Physical Medicine. Tentative standard procedure for evaluating the percentage loss of hearing medicolegal cases. Council on Physical Medicine, <i>J. Am. Med. Assoc.</i> , 133:396, 1947.	Atribuiu porcentagens de importância às frequências 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz com 15%, 30%, 40% e 15% respectivamente, para que o cálculo da incapacidade auditiva fosse realizado levando-se em consideração o comprometimento social da recepção da fala.
1950	H. Almeida	Influence of electric punch card machines on the human ear. <i>Archives of Otolaryngology</i> 51:215-222, 1950.	Efetuoou um mapeamento de risco nos escritórios da estrada de Ferro Sorocabana e, menciona não apenas a lesão auditiva advinda da exposição ao ruído.
1951	L. Mocellin	<i>Profilaxia dos traumatismos sonoros na surdez profissional</i> . Curitiba, 1951. Tese de Livre Docência – Faculdade de Medicina da Universidade do Paraná.	Estuda vários casos de trabalhadores metalúrgicos expostos ao ruído e os analisa sob o aspecto clínico e auditivo.
1961	AMA American Medical Association	Commitee on Medical Rating of Physical Impairment: Guide to the evaluation of permanent impairment: ear, nose and throat and related structures. <i>J. Am. Med. Assoc.</i> , 177:489-501, 1961.	Define a nova fórmula de avaliação das incapacitações incluindo apenas os limiares das frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz.
1961	J.V Waal e L. Holland	Peculiarities of noise-induced hearing loss. <i>Ann. Otol.</i> 70:208-223, 1961.	Estudaram 117 trabalhadores metalúrgicos sendo que 107 deles apresentavam desvios de limiares de 15 dB ou mais nas frequências de 1000 Hz a 8000 Hz. Constataram que 69% dos desvios permanentes de limiar estavam concentrados entre 3000 Hz e 6000 Hz.
1961	A. Glorig, W. D. Ward J. Nixon	Damage risk criteria and noiseinduced hearing loss. <i>Archives of Otolaryngology</i> 74:413-423, 1961.	Realizaram um estudo retrospectivo no qual foi verificada a evolução dos limiares em pelo menos três décadas de exposição comparativamente a uma população controle não exposta.
1964	W. Taylor (et al)	Taylor, W. <i>et al.</i> - Study of noise and hearing in jute weaving. <i>J. Acoust. Soc. Am.</i> , 38:113-120, 1964.	Estudaram 251 trabalhadores aposentados que durante a sua vida ocupacional estiveram expostos a níveis de 99 a 102 dB SPL.

Fonte: adaptado de Almeida et al. (2000)

Tabela 1 (continuação): Evolução científica dos estudos a respeito da exposição ao ruído

Ano	Pesquisador	Publicação	Descrição
1967	G. R. Atherley W. G. Noble D. B. Sugden	Foundry Noise and hearing in Foundrymen. <i>Ann. Occup. Hyg.</i> , 10:255-261, 1967.	Estudaram metalúrgicos de fundição de ferro, bronze e manganês. Os limiares dos trabalhadores em 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz e 6000 Hz é de 15 a 35 dB maiores que o dos outros grupos não expostos.
1968	S. Marone	<i>Estudo Médico-Legal das Perdas da Audição</i> . Edição Saraiva, São Paulo, 1968. 85 p.	Realizou um estudo de revisão das disacusias ocupacionais, incluindo o trauma acústico ocupacional e a disacusia neuro-sensorial ocupacional por ruído.
1972	J. D. Miller	Effects of noise on the quality of human life. Central Institute for the Deaf, St. Louis (Special Contract Report Prepared for the Environmental Agency, Washington, D.C.) <i>Occupational Exposure to Noise</i> , NIOSH, 1972, USA.	Em estudo retrospectivo, observa que grupos de trabalhadores com diferentes períodos de exposição ao ruído em anos apresentam perdas mais proeminentes em 4000 Hz.
1978	C. A. Pereira	Surdez profissional em trabalhadores metalúrgicos: <i>estudo epidemiológico em uma Indústria da Grande São Paulo</i> . São Paulo, 1978. Dissertação de Mestrado - Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo.	Realiza um estudo epidemiológico em trabalhadores metalúrgicos. Propõe uma classificação da lesão em conformidade com o nível dos limiares. Observa que a prevalência de perda auditiva naquele grupo de trabalhadores era de 53,1%.
1978	Brasil	Portaria 3214 DE 08/06/78 – Ministério do Trabalho e Emprego do Brasil.	Portaria 3214 de 8/6/78 do Ministério do Trabalho/Brasil (1978) constitui um enorme avanço para a prevenção das doenças ocupacionais, incluindo as disacusias sensorineurais ocupacionais por ruído.
1980	WHO	Environmental Health Criteria - WHO (1980)	Reúne estudiosos de todo o mundo para discussão e publicação dos efeitos lesivos do ruído ambiental, incluindo o ambiente do trabalho, na saúde do Homem.
1981	França	Decreto nº 81-507 citado em Conraux, C. <i>Surdités Professionnelles</i> , La Revue du Praticien, 40(19):1762-5, 1990. Aprovação em 4/5/1981 (J.O.)	Pela legislação francesa, a surdez profissional é reconhecida como doença no quadro 42 do regime federal. Este quadro, intitulado “afecções profissionais provocadas pelo ruído”.

Fonte: adaptado Almeida et al. (2000)

Para complementar as informações da Tabela 1, a seguir apresenta-se um olhar ainda mais longínquo para os registos da literatura científica, onde identificaram outras publicações que relatam a exposição humana ao ruído.

O Papiro Edwin Smith, datado do período 3.000-2.500 a.C. do antigo Egito, foi apontado como o registo científico mais antigo sobre exposição ao ruído. Neste documento foi efetua a descrição dos ossos temporais, a partir dos ferimentos das batalhas. Vários combatentes deste período sofriam ferimentos na região temporal, dos quais resultou a deterioração da função auditiva e da fala (Hawkins 2004).

Em outro momento, por volta do ano de 1500 a.C., surge o registo do Papiro de Ebers, onde consta um capítulo referente a "Medicamentos para o ouvido com audição fraca". Os fatos relatados, apontam para a escassez ou quase inexistência de conhecimentos sobre os cuidados da saúde auditiva durante esse período. O conteúdo dos documentos

demonstra que os profissionais da época não possuíam conhecimentos clínicos sobre a anatomia auditiva e consideravam que o ouvido interno era de dimensões reduzidas e, portanto, de inacessibilidade cirúrgica. O posicionamento clínico da época favoreceu a perpetuação do abandono desta especialidade clínica por um longo período (Hawkins 2004).

Os primeiros relatos de identificação de perda auditiva foram efetuados no século XVII, por Francis Bacon, Visconde de Alcan, que viveu em Londres no período de 1561 a 1626 (Spedding, Ellis, e Hearh 1900). Francis foi um dos primeiros autores a mencionar que os homens que trabalhavam em atividades laborais como ferreiros, moleiros e artilheiros, tinham a possibilidade de serem acometidos por perda auditiva, em virtude dos ambientes laborais da época serem muito ruidosos (Hawkins e Schacht 2005).

Em 1873, John Roosa, em Nova York, observou que os trabalhadores empregados no fabrico de caldeiras das locomotivas a vapor eram muito propensos à perda de audição, em virtude de estarem expostos aos ruídos durante as marteladas de grandes placas de ferro (Hawkins e Schacht 2005).

Em Munique/Alemanha, em 1887, Friedrich Bezold associou a atividade de tiro ao alvo como responsável pelas perdas auditivas dos frequentadores desses ambientes. Em 1889, na província de Turim/Itália, Giuseppe Gradenigo identificou a chamada surdez em pedreiros e moleiros (Hawkins e Schacht 2005).

A perda auditiva tem origem também pela exposição prolongada ao ruído. Esta associação à exposição ao ruído nos ambientes de trabalho, denomina-se perda auditiva ocupacional ou surdez profissional (Metidieri et al. 2013). Como citado no início deste capítulo, busca-se para os ambientes laborais a proteção da saúde dos indivíduos e os perigos iminentes tenham ações que minimizem os riscos a zero ou próximo disso. Para os ambientes laborais em que se encontram mulheres grávidas, estas ações preventivas devem ser obtidas de forma bem mais determinada. Vale ressaltar que esta preocupação agrava, em decorrência da revisão sistemática realizada e que não foi identificado estudos efetivos com o intuito aqui proposto. Por esta razão, tem-se como desafio desta tese, a avaliação da perda de transmissão acústica na parede abdominal e efeito protetor para o feto.

Optou-se como fonte sonora para a avaliação o ruído no interior do habitáculo de veículo automóvel. Uma indagação que pode surgir: por qual razão foi escolhido o ambiente veicular? A resposta está nos dados estatísticos divulgados pela Organisation

Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA)¹. Os dados reunidos na Tabela 2, permitem perceber a relevância da expressiva quantia de veículos automóveis em circulação em uma parte do mundo. Na Tabela 2 podemos observar os dez países que possuem os maiores percentuais de incremento de veículos leves, carga e coletivos em circulação para o período de 2010 a 2014. Numa avaliação superficial dos dados da OICA, pode-se associar o universo significativo de passageiros exposto ao ruído.

Tabela 2: Aumento de veículos em circulação de 2010 a 2014

Ranking	Países	% de incremento veículos leves, carga e coletivos, com base a 2010
1 ^o	México	116
2 ^o	EUA	104
3 ^o	Tailândia	88
4 ^o	China	72
5 ^o	Canadá	61
6 ^o	Reino Unido	47
7 ^o	Índia	45
8 ^o	Coreia do Sul	29
9 ^o	Japão	23
10 ^o	Alemanha	13

Fonte: adaptado OICA (2015)

Ao avaliar o contexto dos país listados na Tabela 2, com referência por exemplo, a México e China. O México no período de 2010 a 2014 apresentou um incremento de 116% (2010: 2.342.283 e em 2014: 3.365.306 veículos automóveis em circulação), para o universo de três milhões de veículos em circulação. Esta avaliação também faz-se para a China, que apresentou no mesmo período o incremento de 72% (2010: 18.264.761 e em 2014: 23.722.890 veículos em circulação), para o universo de 23 milhões e 700 mil veículos automóveis em circulação nas cidades chinesas.

Brasil e Portugal são os países envolvidos nos procedimentos metodológicos desta tese e não estão citados na Tabela 2, porque o número de veículos em circulação, no período de 2010 a 2014, estava abaixo dos dez países citados na referida tabela. Portugal apresentou 28% de incremento em sua frota de veículos automóveis (2010: 158.279 e em 2014: 161.509 veículos em circulação), para o universo de 160 mil veículos em circulação. Brasil apresentou um decréscimo de 1% (2010: 3.381.728 e em 2014: 3.146.118 veículos em circulação). para o universo de três milhões de veículos em circulação. Os percentuais apresentados por Brasil e Portugal são de igual relevância aos demais países citados.

A larga produção de viaturas automóveis demonstra a atualidade, relevância e cariz diferenciador deste tema, quando se analisa o número de veículo que estão sendo utilizados

¹ OICA 2015: Acedido em 15 março 2014: <http://www.oica.net/category/production-statistic>

por pessoas nas mais variadas situações e finalidades. É com este olhar científico que se lança o objetivo desta tese em que se avalia a perda de transmissão sonora diante da barreira, aqui configurada como a parede abdominal.

Para esse desafio, buscou-se na literatura científica dados que identificasse prejuízo à saúde de mulheres grávidas expostas a ambientes ruidosos. Os dados pesquisados para estabelecer o estado da arte e estão descritos no subcapítulo 2.2. As informações reunidas nas revisões juntam-se a novas inquietações e inconformidades dos ambientes, o que permite ressaltar que a mulher grávida está exposta a várias situações nos ambientes laborais, doméstico e lazer.

Para finalizar, coloca-se de forma resumida, que a avaliação da perda de transmissão sonora pela parede abdominal foi estabelecida como posto de trabalho um habitáculo de veículo automóvel, no qual foram identificados os níveis de pressão sonora e o espectro de frequências no interior deste ambiente. Na sequência, estes valores foram submetidos a um modelo analítico e a simulações computacionais. Identificados os níveis de pressão sonora (NPS) gerados no interior dos habitáculos de veículo automóvel, buscou-se saber, através de aplicações, quais os valores em dB que chegam ao líquido amniótico e avaliar se a parede abdominal tem função atenuadora do ruído.

2. ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta os conceitos inerentes à temática desenvolvida nesta pesquisa, de modo a fundamentar as questões técnicas, através da revisão de conceitos e bibliografia para apresentar os trabalhos já investigados sobre o tema.

2.1 Revisão de conceitos

A revisão de conceitos dará suporte aos assuntos que foram aplicados ao longo do desenvolvimento da tese.

2.1.1 Acústica

O universo acústico aborda as questões de geração, transmissão e efeitos. O som não se refere apenas ao fenômeno de propagação da onda no ar, a qual é responsável pela sensação auditiva. O estudo do som envolve as ondas sonoras, caracterizadas como perturbações em frequências muito baixas, denominadas infrassons e das frequências mais elevadas, designadas por ultrassons. As faixas de frequências do infrassom e ultrassom são inaudíveis pelo ser humano, estando os sons audíveis nas faixas de frequências entre infra e os ultrassons. Cita-se ainda, no contexto acústico, os sons subaquáticos, sons em sólidos, ou sons transmitidos por sólidos (Bistafa 2011).

A abrangência de temas relacionados à acústica está presente em várias áreas do conhecimento. A Figura 1 harmoniza as interligações entre as áreas do conhecimento e as interfaces estabelecidas entre elas, estando enquadradas, em primeira estância, pela geração de causas de origem natural ou secundárias à atividade humana (Bistafa 2011).

Para a compreensão da Figura 1, procede-se a leitura no diagrama da seguinte forma: (1) os pontos de partida estão situados nos títulos, localizados nos quatro cantos da Figura. Estes quatro grupos representam as habilitações culturais que abrangem as disciplinas desenvolvidas nos estudos e aplicações da acústica. Na sequência, (2) os grupos subdividem-se em setores de interação, representados nos anéis internos. (3) No centro do diagrama encontram-se os fundamentos físicos da Acústica, do qual emanam os conceitos propostos pela integralidade das áreas de conhecimentos (Bistafa 2011).

- (1) Grupos de Habilidades culturais
 (2) Habilidades profissionais
 (3) Setores de interação
 (4) Fundamentos físicos da Acústica
- Ex: **Perda de transmissão sonora na Parede Abdominal**

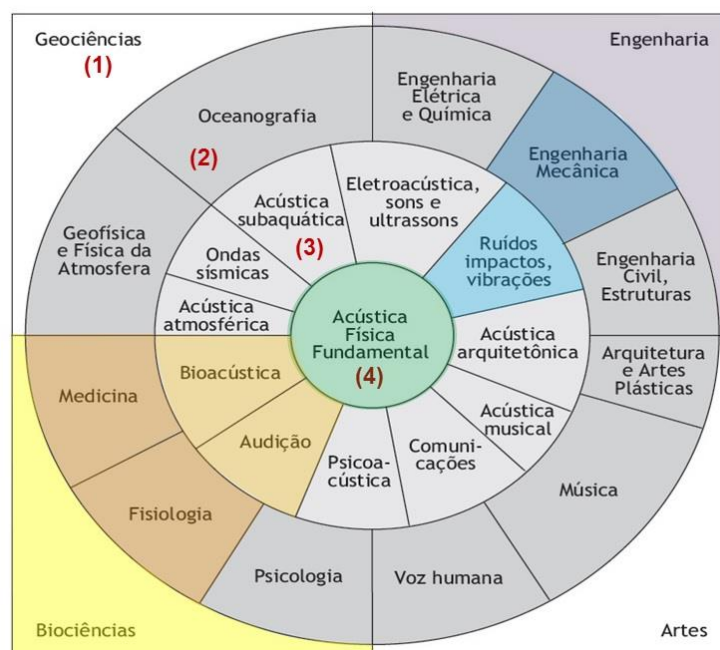


Figura 1: Interfaces entre setores de estudos acústicos, diagrama proposto por Lindsay.
 Fonte: adaptado de Bistafa (2011, 6)

A leitura do diagrama, proposto por Lindsay (Bistafa 2011), coloca na região central a Acústica Física Fundamental, pela relação que tem com diversos setores reunidos no anel intermediário e com as habilidades profissionais. A compreensão da relação das diferentes áreas do conhecimento com a acústica terá melhor absorção interpretativa com os exemplos propostos por Bistafa (2011), pode-se, contextualizar a temática da tese no diagrama de Lindsay, onde a perda de transmissão sonora na parede abdominal, enquadra-se nos grupos de habilidades culturais de Biociência e Engenharia, que envolveram as habilidades profissionais de Medicina, Fisiologia e Engenharia Mecânica. Nestas habilidades profissionais buscou-se os conhecimentos desenvolvidos nos setores de interação de Bioacústica, Audição e Ruído. Os setores de interação, por sua vez, tiveram o suporte dos Fundamentos da Acústica (ver Figura 1).

Ao retomar ao contexto conceitual de onda sonora, diz-se que ela somente propaga-se no ar através de onda mecânica longitudinal. Isso quer dizer, que as partículas que vibram no meio, propagam-se na mesma direção. A onda transporta apenas a energia, sem deslocar a matéria pelo meio por onde passa (Gerges 2000).

A onda mecânica necessita de um meio para a sua propagação, isto é, propaga-se em meio sólido, líquido ou gasoso. A definição de onda longitudinal está na condição em que as partículas responsáveis por sua transmissão, oscilam paralelamente à direção de

propagação (Bistafa 2011). A Figura 2 ilustra os tipos de onda mecânica e sua configuração de propagação.

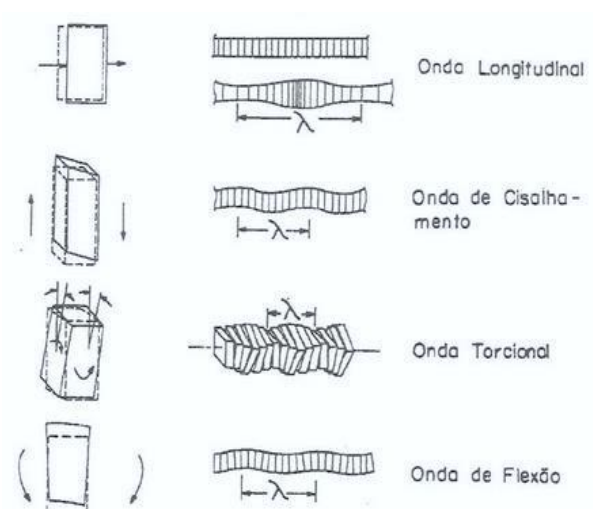


Figura 2: Tipos de ondas sonoras em meio sólido.
Fonte: (Gerges 2000, 189)

O ruído pode ser classificado em três categorias: (1) agradável, como música ou uma boa conversa; (2) útil, som nem sempre agradável, mas que será o som transmitido por um sinal de alarme, de alerta, como a buzina de um veículo, campainha de telefone, e (3) incômodo, essa classificação terá alguns pontos a considerar, por exemplo, a música clássica é um som que para muitos é agradável, mas se for insistentemente tocada às 3h da madrugada, pode tornar-se um som incomodativo. Já o som de veículos de competição, durante a passagem dos mesmos é agradável para os apreciadores deste esporte. Portanto, este conceito de incômodo é subjetivo e dependerá da susceptibilidade ou predisposição do receptor (Bistafa 2011; Maia 2002).

As ondas sonoras possuem características básicas que correspondem a frequência (f), o período (T) e o comprimento de onda (λ). A frequência (f) é definida pelo número de oscilações ou ciclos por unidade de tempo, que no Sistema Internacional de unidades (SI) é expressa em Hertz (Hz). O período (T) corresponde ao tempo necessário para que a onda complete um ciclo e repita em amplitude típicas. O comprimento de onda (λ) é a distância percorrida pela onda durante a oscilação completa (Gerges 2000). Estas características estão representadas na Figura 3, a qual apresenta o comportamento típico de propagação das ondas sonoras de baixa e alta frequência.

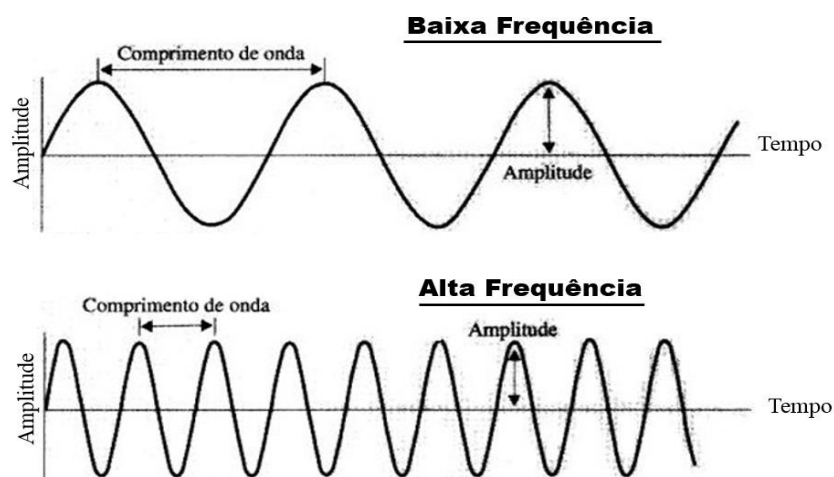


Figura 3: Comportamento de propagação das ondas sonoras de baixa e alta frequência.
 Fonte: adaptado de Maia (2002, 40) e C.F.Q (2012), acedido a 8 de junho de 2015:
<http://blogcfqamfm.blogspot.pt/2011/05/ondas-sonoras-e-periodicas.html>

Como ilustra a Figura 4 a qualidade do som que passa a ser percebido pelo homem encontra-se na faixa audível de frequência entre 20 a 20.000 Hz. Fora desta faixa estão os *infrassons* abaixo de 20 Hz e *ultrassons* acima de 20.000 Hz (Maia 2002). Na faixa de sons audíveis teremos uma divisão que permite distinguir a qualidade de um som, denominada altura. Portanto, a altura de um som terá relação com a frequência. Quanto maior a frequência, mais agudo o som. Desta forma, o som grave ou baixo é considerado os sons inferiores a 200 Hz, os médios situam-se entre 200 a 2.000 Hz e os sons agudos estão acima de 2.000 Hz (Bistafa 2011).

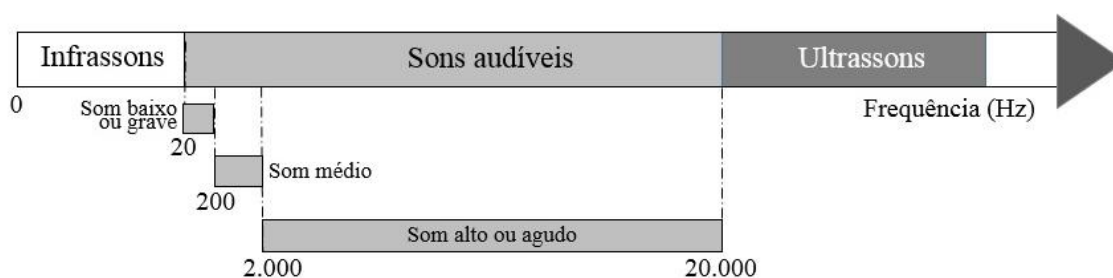


Figura 4: Espectro do som.
 Fonte: adaptado de Maia (2002, 41) e C.F.Q (2012), acedido a 8 de junho de 2015:
<http://blogcfqamfm.blogspot.pt/2011/05/ondas-sonoras-e-periodicas.html>

Para ISO² 2204 (1979 citado em Maia 2002, 41), o som pode ser classificado como a relação ao período de observação, como sendo:

² ISO: International Standard Organization

ISO 2204: 1979: Acoustic – guide to international standards the measurement of airborne acoustical noise and evaluation of its effects on human beings. Genève.

“[...] (1) contínuo, ruído com variações desprezíveis ($\pm 3\text{dB}$) durante o período de observação; (2) não contínuo: ruído cujo nível varia significativamente durante o período de observação; (3) flutuante: o ruído varia continuamente de um valor apreciável durante o período de observação; (4) intermitente, o ruído varia e cai rapidamente ao nível do ambiente, por várias vezes durante o período de observação; a duração na qual o nível permanece em valores constantes diferentes do ambiente é da ordem de um segundo ou mais; (5) de impacto ou impulsivo: o que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a um segundo em intervalos superiores a um segundo.”

Para a caracterização do ruído proposta nesse estudo, precisa-se da compreensão da definição da pressão sonora, que é “[...] a diferença instantânea entre a pressão atmosférica na presença do som e a pressão atmosférica na ausência do som no mesmo ponto do espaço. No SI a unidade é Newtons por metro quadrado [N.m^{-2}], também conhecida como Pascal [Pa]” (Maia 2002, 44).

Como o valor de pressão sonora atinge grandeza numérica expressiva, como por exemplo, um motor potente poderá atingir valor superior a 200 N.m^{-2} . Este valor corresponde a 1.000.000 de vezes a mínima pressão audível. Para proporcionar um manuseio em escalas de grande faixa de valores, utiliza-se os níveis de pressão sonora (NPS) nas Equações Equação 1 e Equação 2, representado neste momento por L , que corresponde a uma pressão P pela relação matemática que segue, segundo Maia (2002):

$$L = 10 \log \left(\frac{P}{P_o} \right)^2 \quad \text{Equação 1}$$

ou

$$L = 20 \log \frac{P}{P_o} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: L = níveis de pressão sonora, em dB,

P = pressão atmosférica na presença do som, em N.m^{-2} ,

P_o = pressão de referência igual a $0,00002 \text{ N.m}^{-2}$, ($2 \times 10^{-5} \text{ N.m}^{-2}$).

Vale citar que o *decibel*, representado por *dB*, é uma unidade adimensional utilizada para indicar a quantidade física do nível de pressão sonora, baseada no logaritmo de base dez. A escala logarítmica relacionada ao NPS medido com a pressão sonora de referência (Maia 2002).

O nível de pressão sonora equivalente (Leq) é o nível médio que está embasado na equivalência de energia. Este valor é definido pela Equação 3 (Giampaoli, Saad, e Cunha 2001).

$$L_{eq} = 10 \log \left[\frac{\left(\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} P^2(t) dt \right)}{P_0^2} \right] \quad \text{Equação 3}$$

Onde: Leq = níveis de pressão sonora equivalente, em dB,

$P(t)$ = pressão sonora instantânea, em $N.m^{-2}$,

P_0 = pressão sonora de referência igual a $0,00002 N/m^2$ ($2 \times 10^{-5} N.m^{-2}$)

O NPS está compreendido entre o limiar da audição humana e o limite da dor. A Figura 5 apresenta estes limites.

A propagação do som ao ar-livre é bastante estudada e modelada. Contudo, as ondas sonoras ao propagarem-se ao ar-livre e ao encontrarem obstáculos (barreiras), permitem a ocorrência da transmissão, absorção ou reflexão (Bistafa 2011). Para unificar o entendimento quanto a classificação dos ambientes a respeito do ruído, apresenta-se a Tabela 3, que relaciona a sensação de intensidade e nível de pressão sonora.

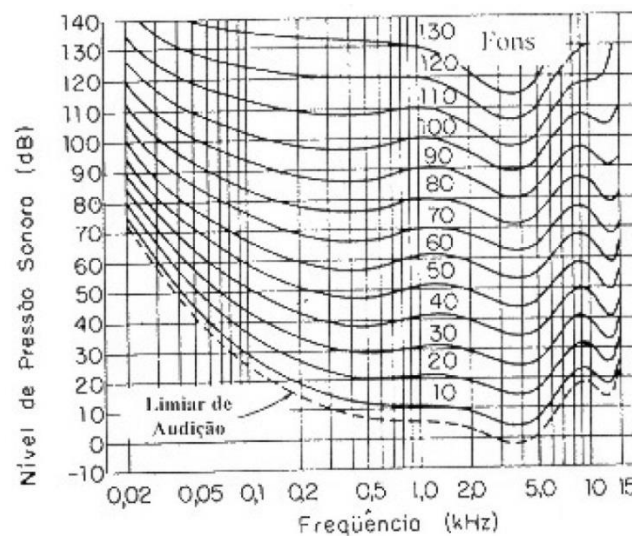


Figura 5: Nível de pressão sonora compreendidas entre o limiar da audição e o limite da dor
Fonte: (Gerges1992 citado em Maia 2002, 71).

Tabela 3: Pressão sonora e níveis de pressão sonora de sons quotidianos

Sensação de intensidade	Descrição	Pressão sonora [Pa]	Nível de pressão sonora [dB]
Estrondoso	Perigo de ruptura do tímpano	200.00	140
	- Avião a jato a 1 m		
	- Fogo de artilharia		
	Limiar da dor	63.00	130
	- Tambor de graves a 1 m		
	- Avião a jato a 5 m		
Muito barulhento	Limiar do desconforto auditivo	20.00	120
	- Avião a pistão a 3 m		
	- Broca pneumática		
	- Metro	6,30	110
	- Próximo a uma britadeira		
Barulhento	- Indústria barulhenta	2,00000	100
	- Dentro de um avião		
	- Banda ou orquestra sinfônica	0,63000	90
	- Rua barulhenta		
Moderado	- Dentro de um automóvel em alta velocidade	0,20000	80
	- Escritório barulhento		
	- Aspirador de pó		
	- Rua de barulho médio	0,06300	70
	- Pessoa falando a 1m		
Tranquilo	- Escritório de barulho médio	0,02000	60
	- Rádio com volume médio		
	- Restaurante tranquilo	0,00600	50
	- Escritório aberto (com tratamento acústico)		
Silencioso	- Sala de aula (ideal)	0,00200	40
	- Escritório privado (ideal)		
	- Teatro vazio	0,00060	30
	- Quarto de dormir		
Muito silencioso	- Movimento de folhagem	0,00020	20
	- Estúdio de rádio e TV		
	- Deserto ou região polar (sem vento)	0,00006	10
	- Respiração normal		
	- Laboratório de acústica (câmara anecóica)	0,00002	0
	- Limiar da audição		

Fonte: (Bistafa 2011, 32)

Nos ambientes, a energia sonora apresenta-se pela soma de parcelas emitidas por múltiplas fontes. Numa medição, esta energia pode ser captada por equipamentos de aferição acústica, denominado sonómetro. Para registos de NPS num determinado período é usual a avaliação dos níveis médios, denominados *níveis equivalentes* (Leq) (Bistafa 2011).

Ainda para Bistafa (2011, 121), o *nível equivalente* é definido “[...] como sendo o nível sonoro estacionário, que se ocorresse durante um intervalo de registo, geraria a mesma energia sonora produzida pelos eventos sonoros registados [...]”. A Equação 4 expressa a fórmula matemática para obtenção deste valor:

$$Leq = 10 \log \left[\sum_{i=1}^N f_i 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \right] \quad \text{Equação 4}$$

Sendo:

Leq : nível equivalente, expresso em dB ,

N : número de leituras do nível sonoro efetuadas no intervalo de tempo de registo,
 f_i : fração do tempo em que o nível sonoro assumiu o valor L_{pi} , para o cálculo de f_i ,
 utiliza-se a Equação 5:

L_{pi} : valor do nível sonoro correspondente a leitura n_i .

n_i : número de leituras do nível sonoro L_{pi} .

$$f_i = \frac{n_i}{N} \quad \text{Equação 5}$$

Atualmente os equipamentos de medição acústica fornecem o L_{eq} em intervalos de tempo estabelecidos pelo operador. Esta grandeza é uma variável comparativa, fixada em normas e legislações relativas à exposição ocupacional ao ruído (Bistafa 2011).

2.1.2 Percepção do som pelo ouvido humano

As ondas sonoras ao serem captadas pelo ouvido humano, estimulam e transferem a informação ao cérebro, como mostra a Figura 6. Este processo de passagem pelo sistema auditivo, transforma o som (estímulo de natureza física) em estímulos neurossensoriais. Esses estímulos/impulsos são interpretados pelo cérebro e identificados, de modo a determinar seu significado e importância (Bistafa 2011).

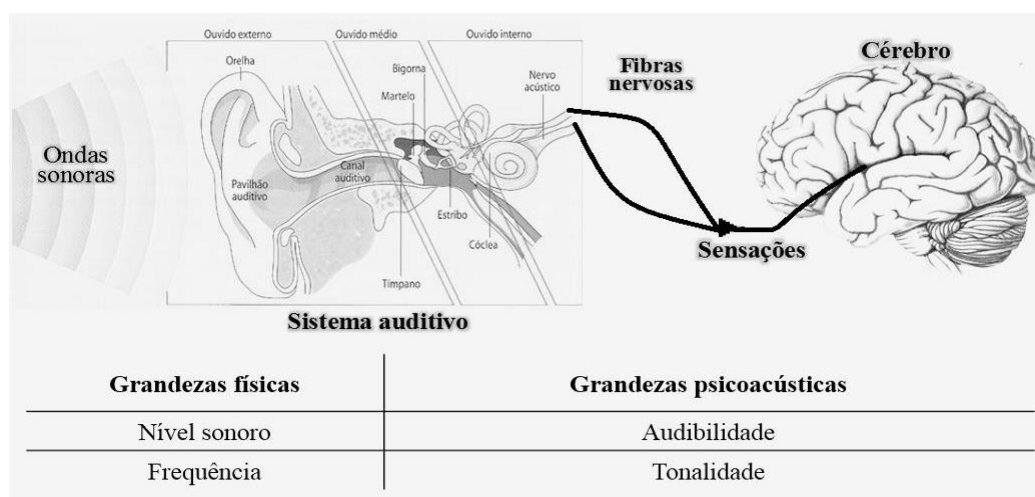


Figura 6: Processamento das ondas sonoras pelo ser humano.

Fonte: adaptado de Bistafa (2011, 65)

Os equipamentos de medição do nível de pressão sonora utilizados, simulam a performance do ouvido quando excitado pelas ondas sonoras. A determinação da sensação subjetiva da intensidade dos sons é captada pelos sonómetros, através de seus circuitos de compensação, que alteram a resposta linear do sensor de pressão sonora. O microfone tem

a função de transformar as ondas sonoras em sinais elétricos equivalentes, quando recebe a pressão mecânica sobre a sua superfície (Bistafa 2011).

A compensação é realizada por atenuação do sinal acústico de algumas frequências. As curvas de ponderação foram construídas de modo a auxiliar a aproximação da percepção dos ouvidos humanos às ondas sonoras que neles chegam. O ouvido humano tem a capacidade de perceber diferentes fontes sonoras. É por isso que a avaliação do som é feita através de filtros de ponderação, como mostra a Figura 7. O uso mais comum é do filtro de ponderação A, que imitam a resposta do sistema auditivo humano e o som é então expresso em dB(A), pela aplicação da curva de ponderação (Maia 2002).

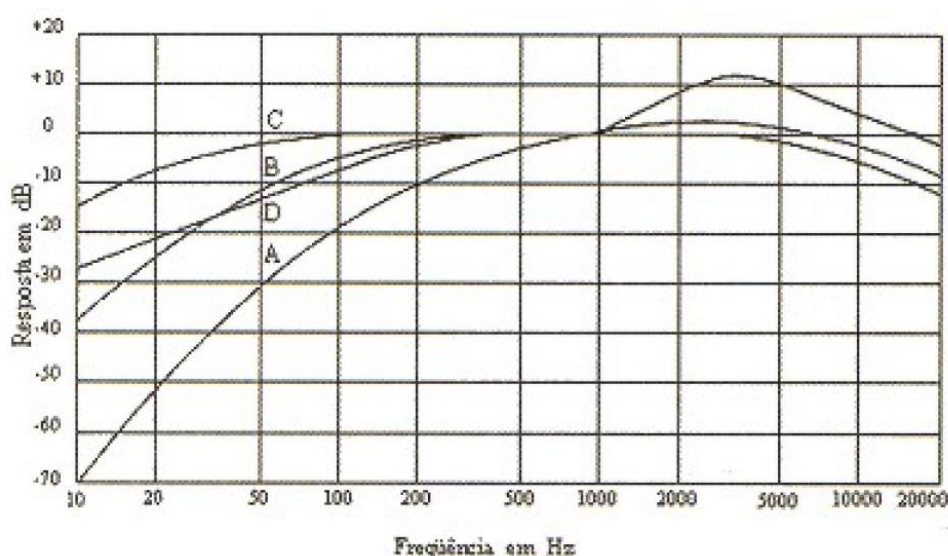


Figura 7: Curvas de ponderação de respostas do ouvido (Curvas A, B, C e D).

Fonte: (Nepomuceno 1977 citado em Maia 2002, 55)

2.1.3 Transmissão sonora através de dois meios

A propagação de onda sonora plana em um meio qualquer, quando se depara com a interface de outro meio, poderá ser totalmente refletida, parcialmente refletida ou totalmente transmitida. Estas três situações têm influência direta com o ângulo de incidência sobre a interface, da velocidade de propagação do som no meio e a densidade dos meios de ambos os lados da interface (Vér e Baranek 2006). A Figura 8 apresenta a esquematização da incidência de uma onda sonora sobre a superfície MN, posicionada a $x = 0$, que produz uma onda refletida (Pr) e uma onda transmitida (Pt)³.

³ Apenas para fazer aqui um parêntese nas questões teóricas em curso, faz-se uma contextualização com a aplicação do conteúdo apresentado com o tema desta tese. A temática da tese refere-se ao estudo da perda de transmissão do som na parede abdominal e terá uma situação de incidência normal (ângulo incidência sobre a parede abdominal de 90°).

A propagação de uma onda sonora progressiva pelo meio, que incide em uma superfície MN de um segundo meio, como representada na Figura 8, resulta em uma onda refletida ainda no primeiro meio, e um onda transmitida no segundo meio.

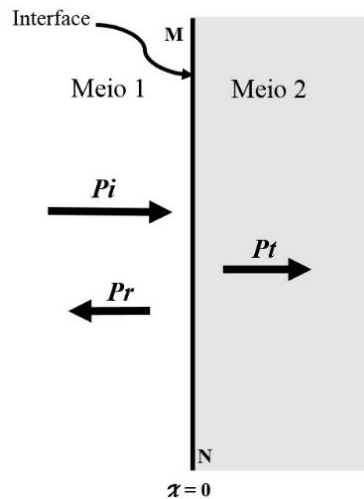


Figura 8: Reflexão e transmissão de uma onda sonora plana, com incidência normal, sobre a interface MN.

P_i: onda sonora incidente; **P_r**: onda sonora refletida; **P_t**: onda sonora transmitida

Fonte: adaptado de Vér e Baranek (2006, 404)

Porém, é pertinente colocar aqui alguns conceitos acerca da reflexão e transmissão da onda plana. Vér e Baranek (2006), sugerem que o meio em que a onda sonora plana se propaga apresentam características de impedância (z) distintas correspondentes às respectivas densidades (ρ) e velocidades de propagação do som pelos meios (c), sendo a impedância acústica característica do meio é expressa por:

$$z = \rho \cdot c$$

Onde, z : impedância do meio

ρ : densidade do meio

c : velocidade do som no meio

2.1.3.1 Incidência, reflexão e transmissão

A proporcionalidade entre a intensidade e amplitudes das pressões sonoras das ondas incidente, refletida e transmitida terá influência das impedâncias acústicas dos meios e do ângulo de incidência da onda. Como está a ser considerado uma onda acústica plana progressiva, a propagar-se em direção positiva (x), de incidência normal (90°) sobre a interface MN, a onda incidente pode ser expressa pela Equação 6 (Gerges 2000, p. 190):

$$P_i = A_1 e^{i(\omega t - k_1 x)} \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

P_i : Onda de incidência no plano MN,
 A_1 : Amplitude de pressão da onda,
 ω : Frequência angular, rad/s
 k_1 : número de onda do meio 1
 x : posição do Plano MN, $x = 0$

No processo de propagação da onda P_i , a incidência sobre a superfície MN, gera uma onda refletida P_r e uma onda transmitida P_t . Estas ondas estão descritas na Equação 7 e Equação 8.

$$P_r = B_1 e^{i(\omega t - k_1 x)} \quad \text{Equação 7}$$

$$P_t = A_2 e^{i(\omega t - k_2 x)} \quad \text{Equação 8}$$

Como os meios (1) e (2) são diferentes, as ondas refletida e transmitida o número de onda ($k_1, c_1 \neq k_2, c_2$), obtidos pelas equações:

$$\text{Meio 1: } k_1 = \frac{\omega}{c_1} \quad \text{Meio 2: } k_2 = \frac{\omega}{c_2}$$

As condições de contorno admitidas, segundo Gerges (2000), foram: “(a) As pressões acústicas nos dois lados da superfície MN são iguais, e (b) as velocidades de partículas normais à interface são iguais.”

Para atender a primeira condição de contorno indicada por Gerges (2000), que a pressão é uma quantidade escalar em $x = 0$, tem-se que:

$$P_i + P_r = P_t$$

Ou seja,

$$A_1 + B_1 = A_2 \quad \text{Equação 9}$$

Sendo as velocidades das partículas para as ondas:

$$U_i = \frac{P_i}{\rho_1 c_1} ; U_r = \frac{P_r}{-\rho_1 c_1} \quad \text{e} \quad U_t = \frac{P_t}{\rho_2 c_2} \quad \text{Equação 10}$$

Na segunda condição de contorno, a velocidade de partícula no meio 1 é $U_i + U_r$, então:

$$U_i + U_r = U_t$$

Substitui-se as equações 9 e 10, tem-se a Equação 11.

$$\frac{A_1}{\rho_1 c_1} + \frac{B_1}{\rho_1 c_1} = \frac{A_2}{\rho_2 c_2} \quad \text{Equação 11}$$

Pelas equações 9 e 12, obtém-se:

$$B_1 = A_1 \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1} \quad \text{Equação 12}$$

Com a substituição da Equação 12 na Equação 9, obtém-se:

$$A_2 = A_1 \frac{2\rho_2 c_2}{(\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1)} \quad \text{Equação 13}$$

Assim, tem-se que o valor de A_2 será uma quantidade real e sempre de valor positivo. O coeficiente de transmissão será definido pela relação de intensidade da onda transmitida I_t e a incidente I_i , entre os meios 1 e 2 (Gerges 2000):

$$\alpha_t = \frac{I_t}{I_i} = \frac{\frac{|A_2|^2}{2\rho_2 c_2}}{\frac{|A_1|^2}{2\rho_1 c_1}} = \frac{4\rho_1 c_1 \rho_2 c_2}{(\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1)^2} \quad \text{Equação 14}$$

2.1.4 Transmissão sonora através de três meios

Neste subcapítulo será apresentado um modelo matemático aproximado para calcular a perda de transmissão sonora de uma onda plana, com incidência normal ($\theta = 90^\circ$), através de três meios. A transmissão da onda por três meios acontece com a incidência pelo meio 1, transmitida no segundo meio 2, e em seguida pelo meio 3. A Figura 9 apresenta a propagação de uma onda na direção positiva de x . A identificação $x = 0$ é o posicionamento da interface entre os meios 1 e 2 e $x = \ell$ é a posição da interface entre os meios 2 e 3 (Gerges 2000).

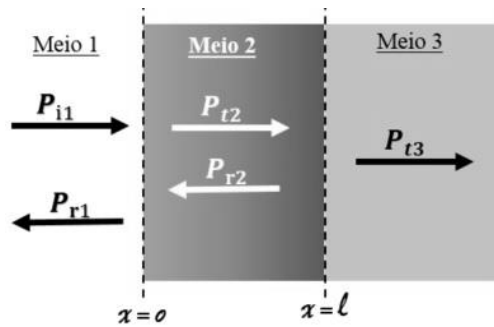


Figura 9: Reflexão e transmissão de uma onda sonora plana através de três meios.
 P_i : onda sonora incidente; P_r : onda sonora refletida; P_t : onda sonora transmitida
 Fonte: adaptado de Gerges (2000, 198)

O desenvolvimento matemático das equações que seguem está embasado na descrição analítica de Gerges (2000). Assim, igualmente, como apresentado no subcapítulo 2.1.3, a onda de incidência no Meio 1, será expressa como indica a Equação 15:

$$P_{i1} = A_1 e^{i(\omega t - k_1 x)} \quad \text{Equação 15}$$

Para esta condição as ondas de transmissão e reflexão são expressas pelas Equações abaixo:

$$P_{r1} = B_1 e^{i(\omega t - k_1 x)} \quad \text{Equação 16}$$

$$P_{t2} = A_2 e^{i(\omega t - k_2 x)} \quad \text{Equação 17}$$

$$P_{r2} = B_2 e^{i(\omega t - k_2 x)} \quad \text{Equação 18}$$

$$P_{t3} = A_3 e^{i[\omega t - k_3(x - \ell)]} \quad \text{Equação 19}$$

Para a condição de contorno em que $x = 0$, tem-se:

$$P_{i1} + P_{r1} = P_{t2} + P_{r2}$$

Que também pode ser expressa pela Equação 20:

$$A_1 + B_1 = A_2 + B_2 \quad \text{Equação 20}$$

Quando se faz uso da propriedade de continuidade da velocidade da partícula para a condição de contorno $x = 0$, tem-se:

$$U_{i1} + U_{r1} = U_{t2} + U_{r2}$$

Que resulta em:

$$(A_1 - B_1) \frac{1}{\rho_1 c_1} = (A_2 - B_2) \frac{1}{\rho_2 c_2} \quad \text{Equação 21}$$

Pode-se demonstrar matematicamente também para a condição de contorno $x = \ell$, considera-se agora a continuidade da pressão sonora.

$$P_{t2} + P_{r2} = P_{t3}$$

$$A_2 e^{-ik_2 \ell} - B_2 e^{ik_2 \ell} = A_3 \quad \text{Equação 22}$$

Para esta condição de contorno, $x = \ell$, a velocidade da partícula indica:

$$U_{t2} + U_{r2} = U_{r3}$$

Que resultará em:

$$\frac{1}{\rho_2 c_2} (A_2 e^{-ik_2 \ell} - B_2 e^{ik_2 \ell}) = \frac{A_3}{\rho_2 c_2} \quad \text{Equação 23}$$

A determinação de A_3 será possível com a eliminação de B_1 , A_2 e B_2 , utilização das equações 20, 21, 22 e 23, e em seguida faz-se a combinação das equações 20 e 21. Obtém-se a Equação 24:

$$A_3 = \frac{(\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1)A_2 + (\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1)B_2}{2\rho_2 c_2} \quad \text{Equação 24}$$

Ao combinar as equações 22 e 23, obtém-se:

$$A_2 = \frac{(\rho_3 c_3 + \rho_2 c_2)}{2\rho_3 c_3} A_3 e^{ik_2 \ell} \quad \text{Equação 25}$$

$$B_2 = \frac{(\rho_3 c_3 - \rho_2 c_2)}{2\rho_3 c_3} A_3 e^{-ik_2 \ell} \quad \text{Equação 26}$$

A substituição das equações 25 e 26 na equação 24, tem-se:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{(\rho_3 c_3 + \rho_2 c_2) \cos k_2 \ell}{2\rho_3 c_3} + i \frac{(\rho_2^2 c_2^2 + \rho_3 c_3 \rho_1 c_1) \sin k_2 \ell}{2\rho_3 c_3 \rho_2 c_2} \quad \text{Equação 27}$$

O coeficiente de transmissão sonora α_t do meio 1, através do meio 2, até o meio 3, será:

$$\alpha_t = \frac{I_{t3}}{I_{i1}} = \frac{\frac{|P_{t3}|^2}{2\rho_3 c_3}}{\frac{|P_{i1}|^2}{2\rho_1 c_1}} = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_3 c_3} \left| \frac{A_3}{A_1} \right|^2 \quad \text{Equação 28}$$

Ou

$$\alpha_t = \frac{4 (\rho_3 c_3 \rho_1 c_1)}{(\rho_3 c_3 + \rho_1 c_1)^2 \cos^2 k_2 \ell + \left(\rho_2 c_2 + \frac{\rho_3 c_3 \rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} \right)^2 \sin^2 k_2 \ell} \quad \text{Equação 29}$$

Onde:

- α_t : Coeficiente de transmissão acústica, adimensional,
- $\rho_1 c_1$: Impedância no Meio 1,
- $\rho_2 c_2$: Impedância no Meio 2,
- $\rho_3 c_3$: Impedância no Meio 3,
- ℓ : percurso da onda no Meio 2 ou espessura do Meio 2
- k : número de onda, calculado pela Equação 30 (Gerges 2000):

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi f}{c} = \frac{\omega}{c} \quad \text{Equação 30}$$

Onde:

- k : número de ondas no mei
- f : frequência, expressa em [Hz]
- c : velocidade de propagação do som no meio [m/s]

λ : comprimento de onda [m]

ω : frequência angular [rad/s]

Pela Equação 29 observa-se que o comportamento da curva de variação do α_t tem função do $k_2 \ell$, associado à razão entre as impedâncias dos meios. Quanto menor a razão entre as impedâncias dos meios, maior será o valor de α_t (Temkin 2001). A Figura 10 ilustra a afirmação de Temkin (2001).

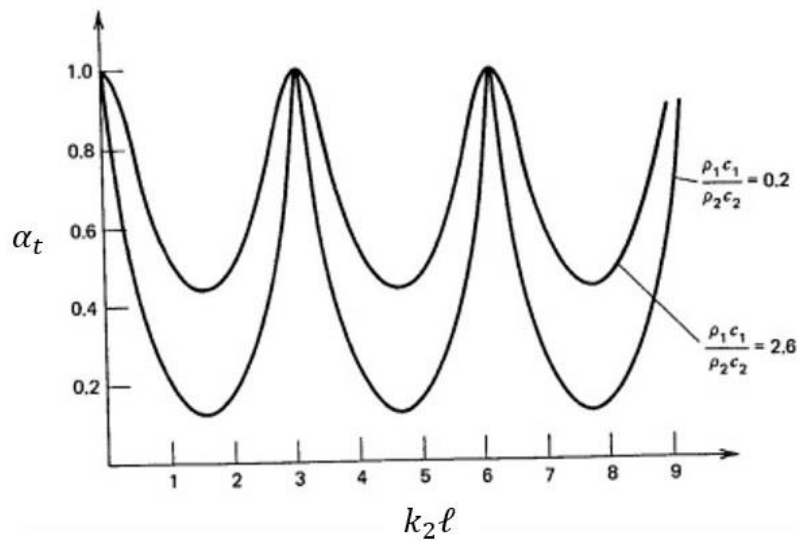


Figura 10: Coeficiente de transmissão sonora através de placas com diferentes características.
Fonte: (Temkin 2001, 108)

As ocorrências de curvas cíclicas decorrem do surgimento de ressonância, originária da estimulação da pressão de flexão, resultante da passagem da pressão incidente, na condição em que o comprimento de onda (λ) é menor que x ($0 < x < l$). Esta ocorrência está associada ao número de onda (k), uma vez que o k aumenta com o incremento da frequência (Temkin 2001).

A Equação 31 apresentada por Temkin (2001), indica que quanto maior a frequência, maior a chance de ocorrência de ressonância, para a situação de parede (placa) fina. Onde: $n = 1, 2, 3 \dots$

$$k_2 \ell = \frac{\omega \ell}{c_2} = n \pi$$

Equação 31

A Figura 11 ilustra a associação entre k e λ citada por Temkin (2001) e auxilia o entendimento da influência do λ na passagem do onda sonora pelo meio 2 e os diferentes k

para as diferentes frequências acústicas. É uma forma simplificada, sem a demonstração de atenuação.

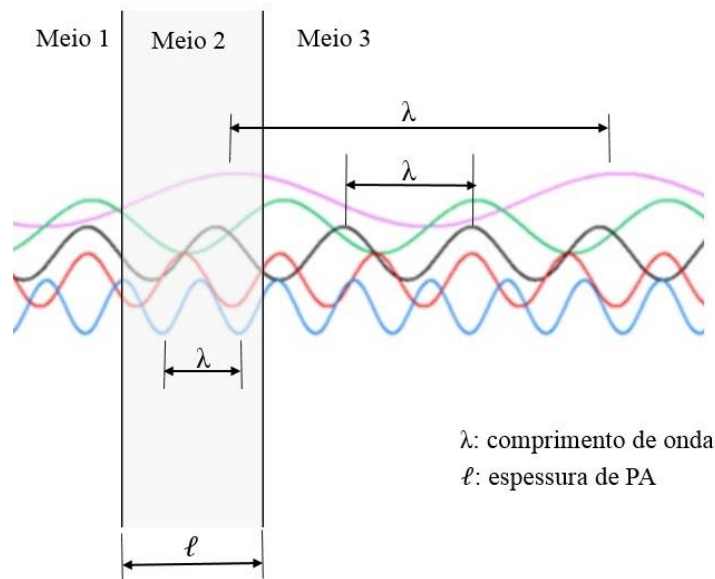


Figura 11: Comprimento de onda para diferentes frequências acústicas, pela espessura do meio 2

Assim, por definição a perda de transmissão sonora (PTS) da onda é um índice relacionado ao logaritmo da energia sonora transmitida, com a energia sonora incidente perpendicular à barreira (Bistafa 2011). A expressão matemática que traduz a perda de transmissão do ruído está descrita na Equação 32 (Gerges 2000):

$$PTS = 10 \log \frac{1}{\alpha_t} \quad \text{Equação 32}$$

Onde:

PTS : Perda de transmissão sonora, expressa em [dB]

α_t : Coeficiente de transmissão acústica, adimensional

2.1.4.1 Lei da Massa

A Lei da Massa para a situação prática em que se analisa quando os dois meios que fazem interface com o Meio 2 são iguais, com a condição em análise (ver Figura 9) o meio 1 tende ao $-\infty$ e o meio 3 tende ao $+\infty$. Para estas condições as pressões nos três meios são expressas por (Temkin 2001):

$$P_{i1} = A_1 e^{i(k_1 x - \omega t)} + B_1 e^{-i(k_1 x + \omega t)} \quad \text{Equação 33}$$

$$P_{t2} = A_2 e^{i(k_2 x - \omega t)} + B_2 e^{-i(k_2 x + \omega t)} \quad \text{Equação 34}$$

$$P_{t3} = A_3 e^{i(k_3 x - \omega t)} + B_3 e^{-i(k_3 x + \omega t)} \quad \text{Equação 35}$$

Ao dar continuidade ao desenvolvimento analítico de Temkin (2001) e tendo que os valores que auxiliam na amplitude da reflexão será $\frac{B_1}{A_1}$ e transmissão da onda será $\frac{A_3}{A_1}$, dada pelas condições de contorno: $x = 0$ e $x = \ell$ (ver Figura 9), tem-se que o valor de o coeficiente transmissão para a condição $\rho_1 c_1 = \rho_3 c_3$ será expresso a partir da Equação 36:

$$\alpha_t = \frac{4}{4 \cos^2 k_2 \ell + \left(\frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} + \frac{\rho_1 c_1}{\rho_2 c_2} \right)^2 \sin^2 k_2 \ell} \quad \text{Equação 36}$$

A aplicação da Equação 36 se dá para a condição de $\rho_1 c_1 = \rho_3 c_3 \ll \rho_2 c_2$ (Temkin 2001; Kinsler e Frey 1962; Gerges 2000). Assim, a Lei da Massa, seguirá a descrição analítica segundo Gerges (2000). Portanto, para esta condição, também se analisa se a espessura do meio 2 será menor que o comprimento de onda sonora incidente.

$$k_2 \ell \ll 1$$

e

$$\frac{\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1} k_2 \ell \gg 2$$

Com as aproximações práticas, tem-se:

$$\alpha_t = \left(\frac{\rho_1 c_1}{\pi} \right) \frac{1}{M^2 f^2} \quad \text{Equação 37}$$

Onde: $M = \rho_2 \ell$ é a densidade da área do meio 2.

A PTS é determinada pela Equação 32, a Equação 38 expressa a perda de transmissão acústica na condição da Lei da Massa

$$PTS = 20 \log \frac{\pi}{\rho_1 c_1} + 20 \log M f \quad \text{Equação 38}$$

Ao considerar que meio 1 é o ar, então $\rho_1 c_1$, será 415,38 rayl, para o ar nas condições normais de temperatura e pressão.

Onde:

ρ_1 : densidade do meio 1: 1,204 kg.m⁻³
 c_1 : velocidade do som no meio 1: 345 m.s⁻¹

$$PTS = 20 \log Mf - 42,4 \quad \text{Equação 39}$$

A análise da Equação 39 aponta que PTS, através de três meios, dependerá apenas da densidade do material no meio 2 e da frequência da onda incidente, para a condição em que os meios 1 e 3 são ar. Portanto, na equação que representa a Lei da Massa, a PTS tenderá ao um aumento de 6 dB, para cada duplicação da frequência da onda incidente (Gerges 2000).

A configuração típica para a perda de transmissão acústica para a situação descrita na aplicação da Lei da Massa, terá que ter o comportamento da curva apresentada na Figura 12. A condição de aplicação da análise analítica terá como limitação a frequência crítica, a qual terá influência da velocidade longitudinal do som no meio 2 ($c_L = c_2$) e a espessura da placa de forma inversamente proporcional. A Equação 40 expressa a frequência crítica.

$$f_c = \frac{c^2}{1,8c_L h} \quad \text{Equação 40}$$

Onde: f_c : frequência crítica, em Hz;
 c : velocidade do som no ar, em m.s⁻¹;
 c_L : velocidade da onda longitudinal no meio 2 (placa); em m.s⁻¹
 h : espessura do meio 2 (placa)

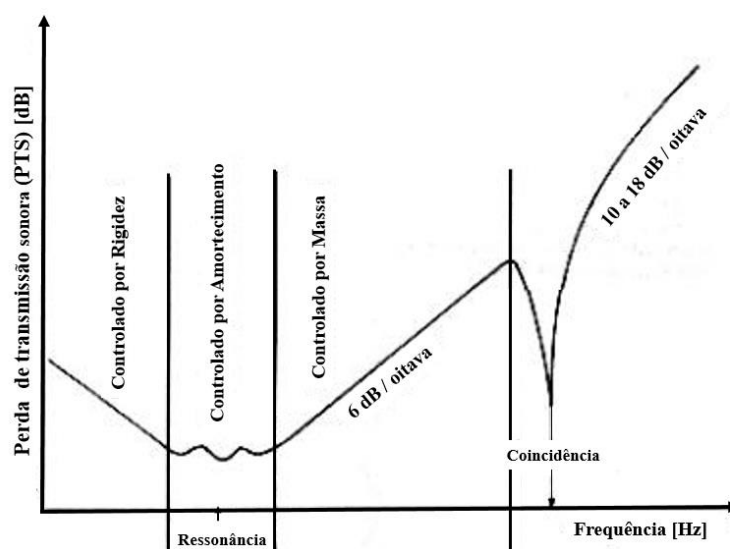


Figura 12: Curva típica de perda de transmissão sonora (PTS) para parede simples
Fonte: (Gerges 2000, 209)

Por esta análise resumida na Figura 12, a Lei da Massa será válida para a condição de frequências abaixo da frequência crítica (Gerges 2000).

2.1.5 O líquido amniótico

Durante o desenvolvimento embrionário, o feto tem proteção mecânica por estar alojado na cavidade uterina e envolto pelo líquido amniótico e simultaneamente mantém-se protegido do contato direto com as mucosas maternas. As características físicas do líquido têm normalmente aspecto claro, em algumas situações ligeiramente opaco, branco acinzentado. De odor similar ao do hipoclorito de sódio (Rebelo e Patrício 2013).

A seguir apresentam-se algumas características físico-químicas do líquido amniótico, de uso aplicativo nos métodos utilizados para avaliar a perda de transmissão sonora, segundo Rebelo e Patrício (2013):

- Densidade: $1,006 \text{ g.cm}^{-3}$ ou 1000 kg.m^{-3} ;
- pH^4 ligeiramente alcalino (7,13 para < 32 semanas e 7,08 para >32 semana), e
- Salinidade (cloretos): 109 mEq/L (tempo de gestação: 16^a a 27^a semana).

⁴ pH: Potencial Hidrogeniônico: é uma escala logarítmica, utilizada para medir o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução (APHA, AWWA, e WEF 2012).

2.1.6 Período de desenvolvimento do sistema auditivo fetal

O sistema auditivo do feto humano desenvolve-se cedo. As peças estruturais da cóclea no ouvido médio estarão bem formadas às 15 semanas de idade gestacional e estarão anatomicamente funcionais às 20 semanas gestacionais (Pujol e Lavigne-Rebillard 1992 e Hall 2000 citado em Graven e Browne 2008). Porém, o sistema auditivo estará plenamente formado quando o feto atingir a idade gestacional entre 25^a a 29^a semana. Nesta fase da gravidez as células do gânglio do núcleo espiral da cóclea conectam-se com as células do ouvido interno e com o tronco cerebral e lobo temporal do córtex (Hall 2000 citado em Graven e Browne 2008). O feto com 16 semanas, inicia os primeiros sinais de uma resposta ao potencial evocado auditivo, isto é, a fala materna ou familiar (Pujol e Lavigne-Rebillard 1992 e Hall 2000 citado em Graven e Browne 2008).

O desenvolvimento do sistema auditivo do feto humano necessita de estímulo auditivo durante as últimas 10 a 12 semanas do período gestacional (isto corresponde à idade gestacional de 28 a 40 semanas) e continua por vários anos após o nascimento. Entre a 28^a e 29^a semana, as células ciliadas⁵ e suas conexões na cóclea estarão suficientemente maduras para iniciar a sintonização para frequências sonoras específicas (Graven e Browne 2008).

Kandel, Schwartz e Jessell (2000 citado em Graven e Browne 2008), colocam um aspecto importante sobre a recepção do som pelo feto:

“[...] A maioria dos sons de alta frequência é filtrada pelo útero, fluido amniótico e tecidos da mãe no útero. No útero, as células ciliadas que estão ajustando a sons de alta frequência estão protegidas de sons intensos de alta frequência, mas estão expostas a sons de baixa frequência que permitem o ajuste fino das células ciliadas. As células ciliadas perder a sua sensibilidade quando expostas por longo período de níveis de ruídos de fundo ≥ 60 dB”.

2.1.7 Parede abdominal da mulher grávida

A parede abdominal da mulher grávida é composta por várias camadas que protegem o feto do meio exterior, as quais são: pele, tecido adiposo, músculo abdominal reto, parede uterina e líquido amniótico (Leite e Araújo 2012). As camadas abdominais estão representadas na Figura 13.

⁵ Células ciliadas são os receptores sensoriais do sistema auditivo (Graven e Browne 2008).

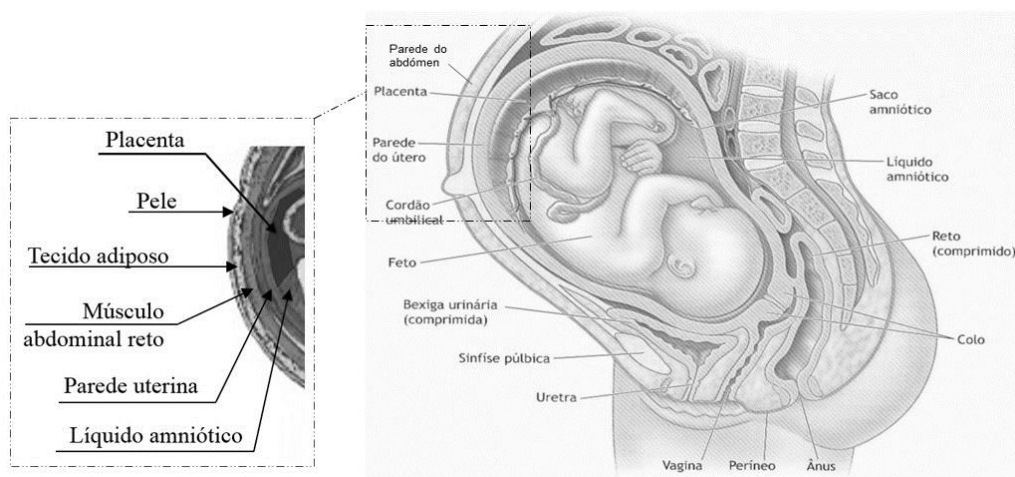


Figura 13: Anatomia abdominal da mulher grávida.
Fonte: adaptado de Chudleigh e Thilaganathan (2004, 4)

Estudos apontam que o som chega até o feto por duas formas: (1) fonte externa: através da parede abdominal, transmitidos através da pele, tecido adiposo, músculo abdominal, parede uterina, placenta e líquido amniótico, e (2) fonte interna materna: respiração, sistema cardiovascular, atividades intestinais, a fala e movimentos do corpo (Benzaquen et al. 1990).

Estudo para verificação do som que chega ao feto durante a gestação foi realizado por Gagnon, Benzaquen, e Hunse (1992). Os autores descrevem o estudo que consistia na colocação de um hidrofone próximo ao ouvido do feto, momentos antes do parto. Os valores registrados no estudo de nível de pressão sonora foram acima de 90 dB. Contudo, é importante ressaltar que os sons que chegam ao feto, principalmente durante o parto, estão associados à situação materna com níveis de ruídos elevados em comparação com o cotidiano, como gritos, reverberação na sala de parto, entre outros fatores (Gagnon, Benzaquen, e Hunse 1992).

Richards et al. (1992), reuniram oito mulheres grávidas e colocaram um hidrofone no útero de cada uma e monitoraram os níveis de pressão sonora gerado externamente (no ar) e intrauterino, em frequência de banda de um terço de oitava, das vozes dos familiares e da mãe. Os resultados extraídos no monitoramento dos hidrofones, estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4: Resultados monitoramento com hidrofones em mulheres grávidas

Parâmetro	NPS no ar [dB]	NPS intrauterina [dB]	Diferença (atenuação/incremento) [dB]
Voz materna	72,0	77,2	+5,2
Voz masculina	88,1	86,0	-2,1
Voz feminina	88,4	85,2	-3,2

Adaptado de Richards et al. (1992, 188)

O método adotado por Richards et al. (1992), indicou a necessidade melhorar a metodologia aplicada, com controles de aferição dos sensores. Os autores fazem esta reflexão ao comparem seus resultados a de outros autores. No entanto, vale ressaltar que o incremento apresentado no comparativo da voz materna (NPS externo em relação ao NPS intrauterino, captado pelo hidrofone) teve influência dos sons internos gerados no corpo materno, como respiração, sistema cardiovascular, atividades intestinais (Benzaquen et al. 1990).

Para finalizar as citações referentes às camadas que compõem a parede abdominal, um ponto importante de ser colocado como referencial é a classificação dada a placentas. Pode ser classificadas como, segundo Perrotti et al. (1999):

“[...] prévia, se qualquer parte da placenta está implantada sobre o segmento inferior do útero; anterior, quando inserida na parede anterior uterina; posterior, quando inserida na parede posterior do útero; lateral, localizada na região lateral direita ou esquerda do útero; e fúndica, quando no fundo uterino.

Esta classificação quanto ao posicionamento da placenta auxiliou na composição das dimensões das camadas que compõem a espessura da parede abdominal na região em avaliação do presente estudo.

2.1.8 Veículo automóvel

No contexto desta pesquisa, a avaliação dos níveis de pressão sonora tem como ambiente o habitáculo de veículo automóvel em trajetos estabelecidos. Para este entendimento colocam-se algumas questões pertinentes ao tráfego de veículos em estradas ou rodovias. É de salientar que a rede rodoviária é composta de elementos de infraestrutura, como pavimentos, obra de arte, sinalização e equipamentos de segurança, que precisam de um programa de estratégias para conservação e reabilitação. A adoção de estratégias devem conter os 3 C's: “o tratamento Certo, na estrada Certa, no tempo Certo” (FP2 2001 citado em Pereira et al. 2007). Este cuidado é imprescindível, ao ser considerado o pavimento como o elemento da infraestrutura mais importante, por estar sujeita a ação intensa do tráfego e do clima. O pavimento deve ainda ser dimensionado de acordo com as solicitações, seja de movimentação de veículos (tráfego), dentro de um período de vida de 20 a 40 anos, tendo sempre em atenção, que tanto o tempo como o clima vão acelerar uma ação de desgaste e deterioração. Durante este período de vida útil o

pavimento deve oferecer condições de circulação seguras e confortáveis (Pereira et al. 2007).

Pereira et al. (2007), apontaram que a estrada tem como objetivo fundamental a prestação de serviço à sociedade e ilustra com a Figura 14, através da interação entre a infraestrutura e os utentes, os veículos e seus ocupantes. Esta interação irá intervir na segurança de circulação pelas estradas e na prevenção de acidentes. Contudo, pode ir mais além, e interagir de forma a conduzir esforços no desenvolvimento de atividades de gestão dos programas de conservação e reabilitação da infraestrutura rodoviária, no incremento e aplicação de tecnologias que ofereçam veículos mais seguros, na modernização e cumprimento da lei, preparo da rede de serviços hospitalares, educação aplicada na infância para preparação de adultos conscientes e planeamento integrado aos sistemas de transporte, mobilidade, modelos territoriais e ambiental. Esta combinação reflete diretamente no conforto acústico no interior dos habitáculos dos veículos automóveis.

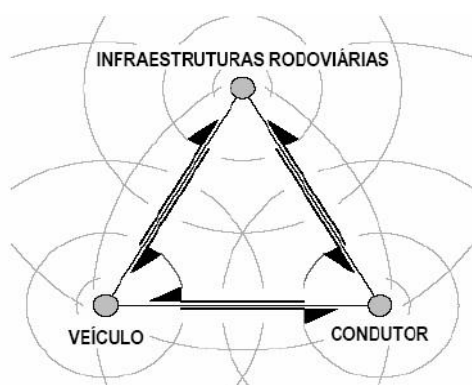


Figura 14: Interação entre condutor/veículo/estrada.
Fonte: (Martins e Nabais2006 citado em Pereira et al. 2007, 26)

Ao longo do tempo, os veículos têm sido melhorados com a implementação de tecnologias de controlo de ruído. No Brasil, na década de 70, a acústica veicular apresentava como limite de pressão sonora externo, prescrito na legislação, de 84 dB(A) para veículos automóveis e 92 dB(A) para caminhões. O ruído interno ultrapassava os 85 dB(A) em veículos comerciais e estava próximo desse valor em alguns veículos de passeio. Nesse período os passageiros não eram muito exigentes e as empresas de fabrico decidiam isoladamente sobre seus produtos. Outro fato relevante da época, diz respeito às tecnologias, que não eram aplicadas com um olhar para o conforto acústico. Somente na década de 80, surge um progresso na acústica veicular, pequeno, mas significativo. Nessa

década, a união das filosofias automotivas alemã e americana, proporciona a produção de veículos semelhantes, providos de concepções de conforto e segurança distintas. A partir de então, os grupos de acústica começam a incorporar sua importância nas equipes das montadoras. Na ocasião o valor médio para nível de pressão sonora era de 73 dB(A) para veículos automóveis e 80 dB(A) para veículos comerciais. Surge então, a preocupação na redução de NPS nos veículos (Onusic 2001).

Na década de 90, outras fábricas contribuíram com a diversificação na oferta no mercado brasileiro. Os estudos para redução da intensidade sonora, colaboraram para a identificação e tratamento de fontes de ruído. Foi então nessa década que os filtros acústicos tiveram uma significativa evolução. Esse processo evolutivo resultou em obtenção de redução dos níveis de ruído externo para 77 dB(A) em veículo de passeio e 84 dB(A) para veículos comerciais. Já os ruídos internos passaram a 75 dB(A) para veículos comerciais e 69 dB(A) para os veículos de passeio. E na segunda metade dessa década, o ruído gerado pelos pneus começa a ser discutido, uma vez que o conforto acústico passa a ser um diferencial na conquista do mercado (Onusic 2001).

Outro estudo realizado pela WP-NERV (2001)⁶, grupo de estudo do International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE), demonstra que no período de 1965-2002, foram aplicados aos veículos tratamentos para a redução considerável de ruído. Uma síntese deste estudo é mostrada na Figura 15.

O estudo do WP-NERV (2001), como apresentado na Figura 15 apresenta a rigorosidade que ao longo dos anos tem sido aplicada para o controle do ruído no setor automobilístico. De 1970 a 2001, nos veículos automóveis baixaram os limites de ruído nas seguintes proporções: nos EUA de 86 para 80 dB(A), no Japão de 84 para 76 dB(A) e na Europa de 82 para 74 dB(A). Representa um ganho no conforto e saúde dos passageiros dos veículos automóveis.

⁶ WP- NERV: Working Party on Noise Emissions of Road Vehicles

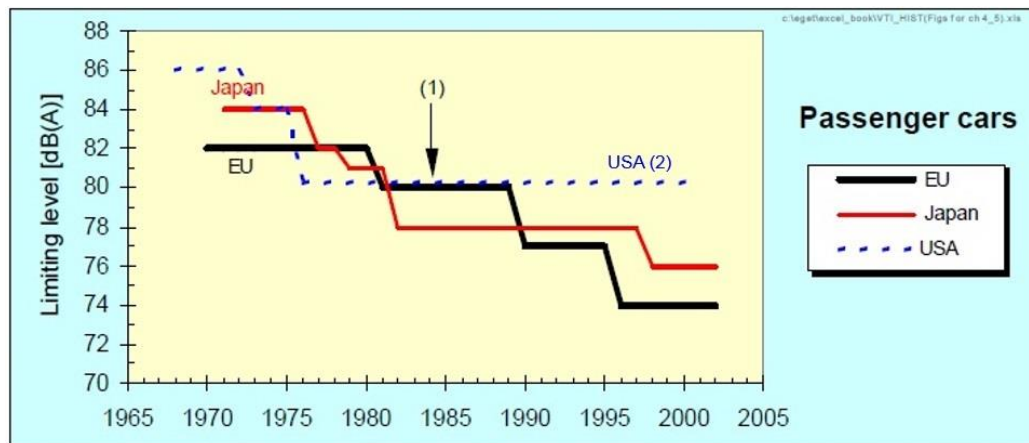


Figura 15: Desenvolvimento de limites de emissão de ruído ao longo dos anos.

- (1) O autor indica na figura que na União Europeia, houve uma mudança no método de medição, em 1985, para caminhões, isso correspondia a 2-4 dB de requisitos mais rigorosos em cima das outras mudanças; mas para os veículos automóveis correspondia a aproximadamente 2 dB.
- (2) Cita o autor que nos EUA não há requisitos de ruído na legislação federal para carros, mas alguns estados têm os limites fixados em 80 ou 84 dB.

Fonte: (WP-NERV 2001, 11)

Por esta razão, a redução do ruído interno nos veículos tem sido uma tarefa de extraordinária importância para a engenharia acústica nos últimos anos. Sendo assim, os passageiros dos veículos ao longo destes anos passam a habituar-se a este conforto e estão tornando-se mais exigentes. E a indústria de fabrico de automóveis obriga-se a inovar para atender a esta clientela. Portanto, diante das inovações para tornar o habitáculo dos veículos acusticamente mais confortáveis, o ouvido humano adapta-se a esta situação e torna-se sensível a outras mudanças no tempo e no domínio da frequência. A Figura 16 apresenta a adaptação da audição humana ao ruído gerado no habitáculo do veículo automóvel (Genuit 2009).



Figura 16: Adaptação da audição humana, desafios para engenharia acústica.

Fonte: adaptado de Genuit (2009, 8)

Genuit (2009), salienta que pela influência permanente de interação entre cinco sentidos humanos, interferem na percepção sensorial. Os sentidos, tátil, audição, olfato, visão e paladar, são essenciais para que possamos sentir o mundo à nossa volta pela combinação da percepção. E este fenômeno exerce uma importância no contexto do ruído interno no habitáculo do veículo automóvel, onde o nosso inconsciente utiliza de toda a informação sensorial para avaliar os sons. O condutor do veículo faz parte de um sistema vibroacústico, que está ligado através dos pontos de contato com o veículo, os quais são volante, assento, soalho (piso) e pedais.

Estudos demonstraram efeitos de interação entre vibração sobre a percepção do som. Observou nos estudos a indicação que a vibração pode reduzir a irritabilidade causada pelo ruído (Gemell 2009 citado em Genuit 2009). Porém, o estudo realizado por Amman et al. (2007 citado em Genuit 2009, 8) não apontou a interação significativa entre som e vibração. Estes autores avaliaram os eventos NVH (*Noise Vibration and Harshness*) transitórios que ocorrem em situação em que os pneus dos veículos automóveis circularam por trechos de descontinuidade do pavimento e analisaram a relação percentual de ruído e vibração. Nesta publicação os autores concluíram, que nos veículos automóveis estes fenômenos sonoros são independentes. A Tabela 5 apresenta alguns conceitos e teorias de efeitos dos ruídos e vibração pelos referidos autores (Amman et al. 2007 citado em Genuit 2009).

Tabela 5: Conceitos e teorias de efeitos dos ruídos e vibração (sobreposição parcial)

Conceitos e teorias	Efeitos
Aumento da interação	Vibrações aumentam a percepção do ruído
Diminuição da interação	Vibrações diminuem a percepção do ruído
Teoria capacidade cognitiva	Ruído e vibração agem como carga cognitiva; em caso de elevada carga cognitiva para os diferentes sentidos, será de difícil avaliação separadamente.
Teoria de incompatibilidade	Os seres humanos concentram-se principalmente no único estressor, aquele que sobressair.
Teoria de contraste	Estímulos desviam a atenção (ou mascaram), por consequência do efeito de outros estímulos.
Teoria de Domínio	Um estímulo atrai mais atenção do que outro e domina avaliação
Teoria de camuflar	Ruído alto eleva limites de vibração e vice-versa
Ausência de efeitos de interação	Avaliação do estímulo combinado (efeito) é igual à soma dos estímulos individuais (efeitos).

Fonte: adaptado de Genuit (2009, 9)

Para demonstrar e enfatizar as fontes de ruído interno no habitáculo de veículo, é importante pontuar a origem. Estas fontes de ruído, chegam no interior do habitáculo veicular por via estrutural e via aérea. A transmissão por via estrutural descreve-se pela transmissão de ondas vibracionais de baixas frequências através da estrutura do veículo. Os construtores dos veículos amenizam o ruído que chega do habitáculo, através da utilização de elementos elásticos, tais como os coxins de sustentação do motopropulsor e os coxins de sustentação do sistema de exaustão. Outro exemplo de transmissão via estrutural é o ruído transmitido através da suspensão do veículo (Kindt et al. 2009; Filardi 2003). A Figura 17 ilustra as fontes de transmissão de ruído no interior do veículo automóvel citadas acima.

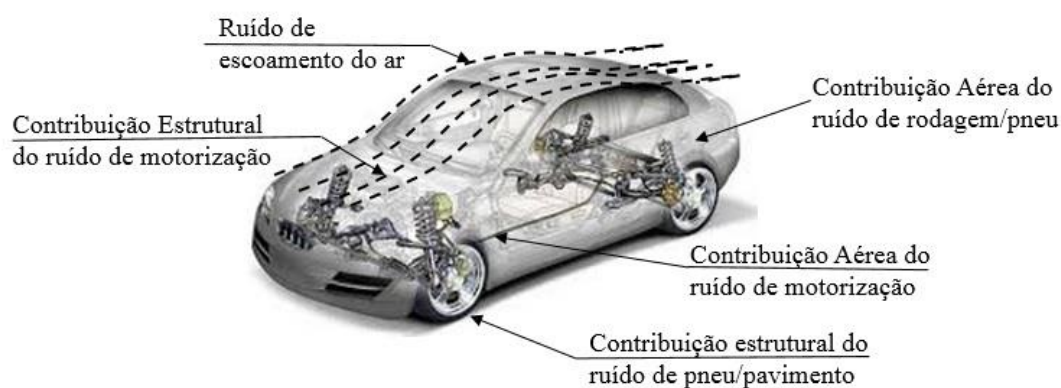


Figura 17: Fontes de ruído no veículo automóvel.
Fonte: adaptado de Kindt et al. (2009, 2558)

A transmissão via aérea caracteriza-se pela transmissão de ondas sonoras de médias e, principalmente, de altas frequências. Cita-se como exemplos, o ruído radiado pelo motor, pelo bocal de aspiração e, pelo bocal e pelas paredes dos silenciosos do sistema de exaustão. É importante salientar que a parede frontal e o soalho são considerados dois caminhos para a transmissão aérea. A localização destes pontos, próximo do motor e o sistema de escape, constituem interfaces diretas para a transmissão do ruído para o interior do veículo. Para amenizar a transmissão, todo e qualquer destes componentes, devem ser fechados utilizando-se tampões de borracha ou similar (Filardi 2003).

Da mesma maneira que descreveu Filardi (2003). Kindt et al. (2009) complementam, ao afirmar que as principais fontes de ruído captados no interior do veículo, são originárias da unidade de potência (motor), da aerodinâmica e da interação do pneu com o pavimento. O que também é identificado por Buchheim e Doberzynski (1983 citado em Marzbanrad e

Beyg 2012), onde estudaram a situação de um veículo em alta velocidade, em que a maior fonte de transmissão de ruído foi por via aérea.

A complementação conceitual apresentada acima, reafirma a tendência da indústria automobilística para redução da emissão de ruído em decorrência da exigência de mercado e legislação. Constata-se este cenário no fabrico dos veículos pela leitura de trabalhos, como ilustrou a Figura 15. Nela mostra a evolução da tecnologia empregada, que reduziu na Europa, a emissão de ruído de 82 dB(A) do ano 1970, para a faixa de 74 dB(A) nos anos de 2000 e 2001 (WP-NERV 2001)

Nesta revisão de conceitos procurou-se contextualizar o tema que serão abordados na tese. E para complementar, na sequência apresenta-se a revisão da literatura científica publicada entre os anos de 1990 e início de 2015, que avaliasse a exposição de mulheres grávidas ao ruído e as medições do nível de ruído existente no interior do habitáculo de veículo automóvel e se que tivessem como objetivo a exposição ao ruído por grávidas igualmente ocupantes de veículos automóveis. O conteúdo desta revisão da literatura está apresentado no subcapítulo 2.2, com a temática de revisão bibliográfica.

2.2 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica foi realizada com a proposta de levantar informações sobre temática da tese dentro do contexto científico. Consultou-se banco de dados, revistas científicas, com o objetivo de fundamentar e sustentar a validade da necessidade de investigação objeto desta tese.

Uma estratégia de revisão foi buscar artigos que apontassem estudos realizados e que relatasse a exposição de mulheres grávidas ao ruído. Para isso aplicou-se a revisão sistemática (RS), que seguiu a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* – PRISMA (Liberati et al. 2009). No desenvolvimento da pesquisa utilizou-se as palavras-chave: *noise, pregnancy, gestational malformations, “miscarriage, gestational risk, preterm birth, gestational noise leve, delivery complications e newborn behavior*. A recolha de artigo foi realizada no motor de busca MetaLib da Biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, aos pares, que identificaram 2.955 ocorrências. Tirados os repetidos, os sem identificação de ano e autores, bem como os anteriores a 1990, passaram 1.893 artigos para a etapa de análise de seus títulos. Destes, 38 seguiram para a etapa de leitura dos resumos. Permaneceram seis

artigos para análise integral do conteúdo. A Figura 18 demonstra a sistemática aplicada à revisão, realizada para esta temática.

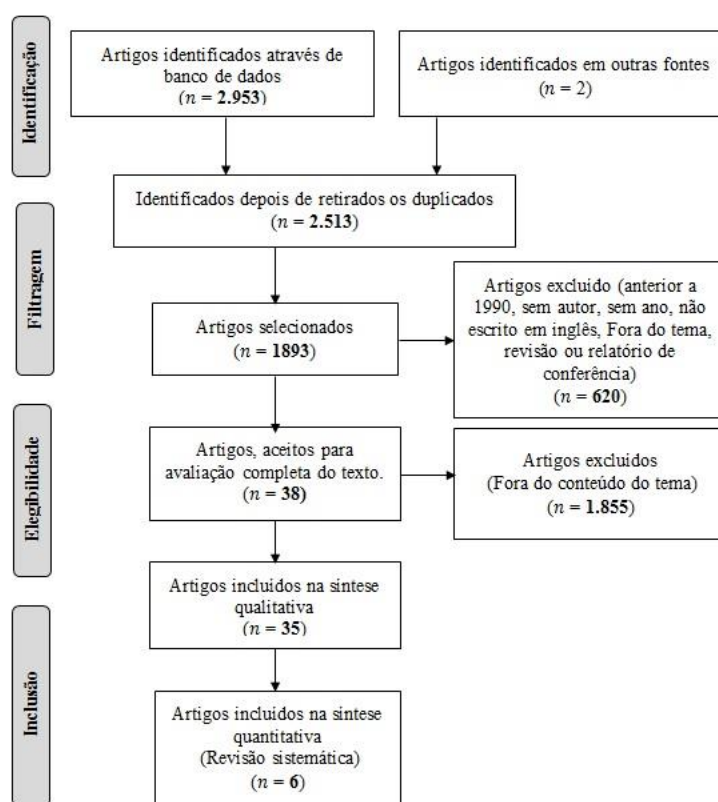


Figura 18: Fluxograma, metodologia PRISMA.
Fonte: adaptado de Liberati et al. (2009)

Os seis artigos selecionados na RS, adotaram como metodologia para o estudo a aplicação de entrevistas/questionários com mulheres grávidas e grupos de controle. A Tabela 6 e Tabela 7 resumem as informações extraídas destas publicações.

Tabela 6: Informações sintetizadas extraídas das publicações selecionadas na revisão sistemática

Informações	Autores/ano					
	Hartikainen et al, (1994)	Bendokiene, Grazuleviciene e Dedele (2011)	Rocha, Azevedo, e Filho (2007)	Magann et al. (2005)	Croteau, Marcoux, e Brisson (2007)	Wu et al. (1996)
Região/ Período	Finlândia 1983-1987	Kaunas/Lituan 2007 e 2009	Fortaleza, Brasil agosto de 2002 a junho de 2003	Califórnia EUA	Canadá, jan 1997 e 7 de Mar 1999	Taiwan 1991
Amostra	111 expostas 181 não expostas	3,121 mulheres grávidas (voluntárias)	80 crianças: 45 controle e 35 Grupo de estudo	814	Casos: 1.242 Controle: 4.513	200
Caract. socioeconômica	33% baixa	Baixa: 26 a 31% Média: 51 a 57% Alta: 15 a 17%	Baixa: 1 -2 salários	NE	NE	Alta Média
Escolaridade	NE	P: 2 a 8% S: 37 a 44% U: 47 a 59%	NE	NE	>14 anos Estudo: 42% Controle: 36%	S

Obs.: NE: Não especificado P: Primário S: Secundário U: Universitário

Tabela 7: Informações sintetizadas extraídas das publicações selecionadas na revisão sistemática (Cont.)

Informações	Autores/ano					
	Hartikainen et al. (1994)	Bendokiene, Grazuleviciene e Dedele (2011)	Rocha, Azevedo, e Filho (2007)	Magann et al. (2005)	Croteau, Marcoux, e Brisson (2007)	Wu et al. (1996)
Idade (anos)	< 20 a 35	20-45 anos	Criança: 0-6 meses	ND	20 a 40 anos	17-40 anos
N. de partos	1 a 3	> 1: 71 a 78%	NE	1 a 4	1 a 3	NE
Estado civil	Casada: 73- 86 %	Casada: 78 a 86%	NE	NE	Casada: 96%	NE
Fumadora	35% das mulheres	2 a 5%	NE	NE	Não associado	3%
Usuária álcool	26 % das mulheres	1 x sem.: 49-51% ≥2 x sem.: 1- 4%	NE	NE	Não associado	5,5%
Atividade laboral	Comércio, indústria, sev público, social	variável	NE	NE	Não associado	NE
Avaliação da Exposição	Entrevista/questionário	Entrevista/questionário	Entrevista/questionário e avaliação otorrinolaringológica	Entrevista/questionário	Entrevista/questionário	Densímetro/questionário de classificação do ruído de trabalho
Crítérios de inclusão	Idade materna, paridade, condições de trabalho	Idade materna, paridade, condições de trabalho	NE	Na ativa, Sem complicações médicas		Ganhos de peso materno, o sexo, a idade gestacional
Tipo de ruído/faixa	48% das > 89 dB L _{Aeq} (8 h) 60% exp. à vibração	Baixa: ≤50 dB(A); média, 51-60 dB(A); alta ≥61 dB(A).	Exposição materna: 80 a 90dB	85 dB	NE	NE
Parâmetros analisados	Trab. fís. pesado Carga psicol. Posição de pé Trab./turnos Ruído impulso Vibração Temp. ambiente	Hipertensão	NE	Ruído/Posição em pé	Doenças crônicas/ruído/anomalia congênita	NE
Tem noção exposição	90 % não consideram seu trabalho envolve a exposição ao ruído	NE	NE	NE	NE	NE
Uso de protetor auriculares	>80% de seu tempo de trabalho, e 39% delas por mais de 95%.	NE	NE	NE	NE	NE
Exposição ao ruído	Ocupacional	Ocupacional e ambiental	Ocupacional	Ocupacional	Ocupacional	Musical
Parto prematuro	Associado	NE	NE	Associado	Não associado	NE
Malformação congênita	Não associado	NE	NE	NE	NE	NE
Hipertensão	Não associado	82 a 87%	NE	NE	Não associado	NE
Baixo peso	Associado	NE	NE	NE	Não associado	Não associado
Feto surgez	NE	NE	Não associado	NE	NE	NE
Feto: desenv. Intelectual	NE	NE	NE	NE	NE	NE
Exposição ruído ambiental	NE	Objeto do estudo	NE	NE	NE	Trafego e vizinhança

Obs.: NE: Não especificado P: Primário S: Secundário U: Universitário

Neste contexto, apresentaram evidências pela exposição ao ruído de mulheres grávidas, como malformação congênita fetal em percentual baixo (Hartikainen et al. 1994), tendência do parto prematuro (Magann et al. 2005), não associado a hipertensão gestacional (Croteau, Marcoux, e Brisson 2007; Haelterman et al. 2007). Foi identificada associação à hipertensão em 82 das mulheres entrevistadas expostas ao ruído (Bendokiene, Grazuleviciene, e Dedele 2011).

A revisão sistemática não identificou estudos que apontem qual o nível de pressão sonora que chega ao feto. Contudo, permitiu mapear os resultados de maneira a contribuir para a elaboração e definição da metodologia a ser adotada para as novas pesquisas a serem desenvolvidas para esta tese.

Pelo panorama apresentado na primeira RS, percebe-se a importância do tema. Mas, é imperativo que os estudos futuros obtenham informações sólidas que contribuam com o quadro atual de necessidades das mulheres grávidas expostas em ambientes de riscos e com a probabilidade eminente de afetar a sua condição reprodutiva. Porém, não foi identificado estudos que envolvam a exposição ao ruído de mulheres grávidas em habitáculos de veículo automóvel. Definiu-se, portanto, ampliar este universo. Passou a aplicar a metodologia de RS para o contexto de avaliação do nível de ruído existente no interior do habitáculo dos automóveis.

Para a nova abordagem da RS foi aplicada também a metodologia PRISMA para identificação das publicações relevantes em bases de dados eletrônicas. As consultas às revistas científicas e bases de dados foram feitas de modo integrado e avançado, a partir de motores de busca MetaLib da Biblioteca da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Utilizou-se nesta pesquisa as seguintes palavras-chave: *"internal noise"*, *"vehicle cabin"*, *"noise exposure"*, *"automotive interior noise"*, *"car interior noise"*, *"noise measurement"*, *"car cabin"*, *"automobile cabin"*, *"sound level exposure"*, *"vehicle acoustic comfort"* e *"acoustics level"*. As palavras-chave foram aplicadas no motor de pesquisa Metalib e foram combinadas aos pares.

Foram considerados os artigos que cumpriam os seguintes critérios de identificação: publicados entre janeiro de 1990 e março de 2015, em revista indexada, com revisão por pares, em que tenha sido publicado inglês e em que fosse avaliado o nível de pressão sonora no interior do habitáculo de veículo automóvel em movimento. Os critérios de exclusão foram os artigos anteriores a 1990 e os que não cumprissem os critérios de inclusão. Na fase de elegibilidade foram eliminados os artigos repetidos, os artigos foram analisados pelo título e resumo, consequentemente os artigos completos dos estudos potencialmente

relevantes foram selecionados. As referências importantes dos artigos selecionados também foram verificadas e incluídos na presente revisão caso cumprissem os critérios de inclusão. Após eliminação dos artigos repetidos, os remanescentes foram analisados pelo título e resumo, consequentemente os artigos completos dos estudos potencialmente relevantes foram selecionados.

Os artigos que cumpriram os critérios de inclusão foram submetidos à análise do conteúdo integral do texto, tendo-se sistematizado as informações relevantes dos artigos sob a forma de tabela, em matéria de: localização geográfica do estudo, características da amostra, tipo de estudo, objetivos e resultados.

Totalizaram 12.053 publicações identificadas e mais 2 de outras fontes (referências de artigos selecionados), tendo-se somados 12.056 artigos. Na fase de triagem foram excluídos 9.376 artigos duplicados e 973 artigos por não conterem a identificação do ano, ou do autor ou por terem sido publicados antes de 1990.

Pela filtragem e na leitura dos títulos foram excluídos 1.668 artigos, por estarem fora dos objetivos propostos para a revisão sistemática. Também, foram excluídos aqueles em que a publicação não tenha sido em inglês. Desta seleção foram identificados 13 artigos para a fase final da análise dos conteúdos. A Figura 19 demonstra a sistemática aplicada à revisão.

A análise do conteúdo integral dos textos das 13 publicações selecionadas, as informações relevantes encontradas foram sistematizadas sob a forma de tabela, em matéria de: localização geográfica do estudo, características da amostra, tipo de estudo, objetivos e resultados. As informações estão resumidas na Tabela 8.

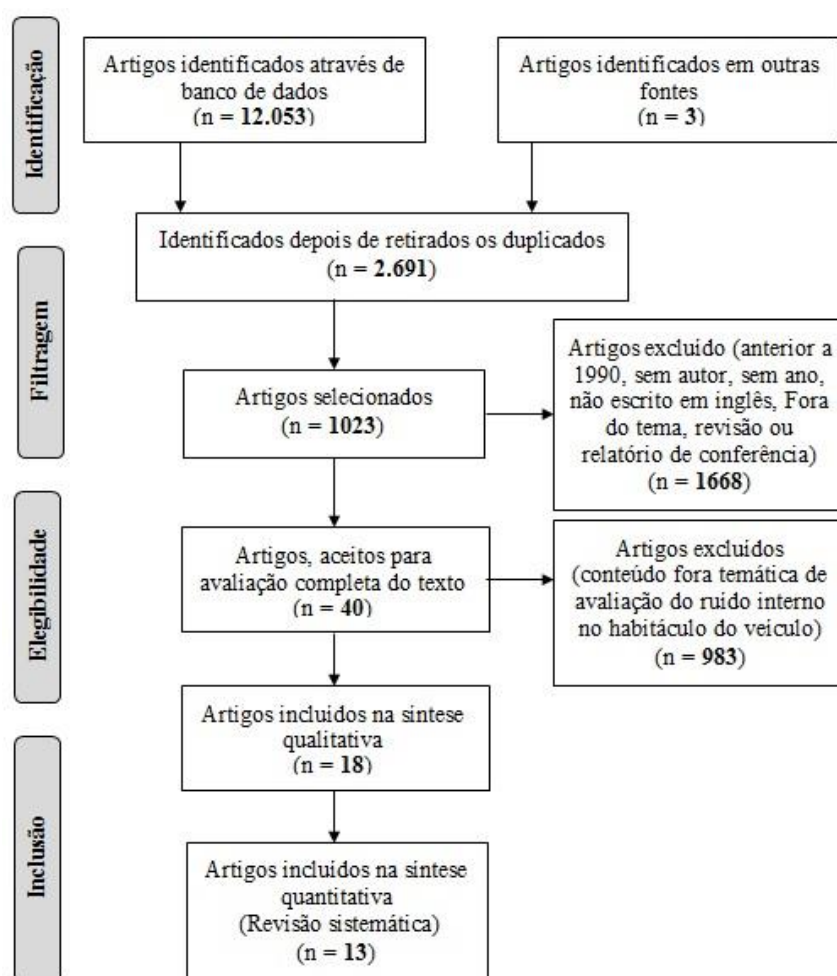


Figura 19: Fluxograma, metodologia PRISMA.





Fonte: adaptado de Liberati et al. (2009)





Tabela 8: Informações das publicações referentes à exposição ao ruído interno dos automóveis.

Autor (Ano)	País	Característica da amostra	Tipo de estudo	Objetivos	Resultados
		/ Ano / ou /			
Gomez et al (2012)	Coréia do Sul	Automóvel de passageiro / 2009 / laboratório / um	Com intervenção	Avaliação acústica no habitáculo do automóvel.	Sugere que o material de absorção acústica possa ser testado noutros de dimensões similares.
Putner, Lahrmann e Fastl (2013)	Áustria	Automóvel de passageiro/SI/laboratório/um	Com intervenção	Identificar o ruído emitido pelas superfícies no interior do veículo	Ruído potenciado pelo painel e algumas partes das janelas e portas, pela velocidade das partículas.
Chen e Wang (2011)	China	Automóvel de passageiro/SI/laboratório/um	Com intervenção	Avaliação do ruído no interior do veículo.	Valor máximo original de 45 dB(A), a 120km/h. Acréscimo e decréscimo de 3 dB(A).
Chen et al (2010)	China	Automóvel de passageiro/SI/laboratório/um	Sem intervenção (Análise estatística)	Estudar o ruído no interior do habitáculo para reduzi-lo.	Redução do ruído interior em 37,47 dB(A) com a mudança de material e redução do peso em 0,8 kg.
Achyut, Manoj e Ramkumar (2014)	Índia	Automóvel de passageiro/SI / laboratório / um	Sem intervenção (MEF)	Prever a geração de ruído no interior do veículo automóvel.	Os assentos reduzem 9dB no NPS. Combinação de assentos e tapetes reduz 11dB no NPS.

: Tipo de veículo automóvel / **Ano**: Ano de fabrico do veículo / : realizado em Pavimento ou : realizado em laboratório / : número de veículos; **SI**: Sem Informação; **MEF**: Método dos Elementos Finitos. **SEA**: Statistical Energy Analysis. **TPA**: Transfer Path Analysis. **PCA**: Principal Component Analysis. **NPS**: Nível de Pressão Sonora.

Tabela 8 (Cont.): Informações das publicações referentes à exposição ao ruído interno dos automóveis.

Autor (Ano)	País	Característica da amostra	Tipo de estudo	Objetivos	Resultados
		 / Ano /  ou  / 			
Muhamad e Junoh (2012)	Malásia	Automóvel de passageiro / SI / Pavimento asfalto / um	Com intervenção	Otimizar ruído no interior do habitáculo.	O ajuste nos materiais, utilizados nas estruturas, melhora o conforto acústico.
Chen, Geng e Wang (2010)	China	Automóvel de passageiro / SI / Laboratório / um	Sem intervenção (Análise estatística)	Avaliar o ruído interno no habitáculo com aplicação de diferentes materiais.	Método apontou que o vidro laminado contribui para a redução do ruído (para altas frequências).
Hosseini Fouladi, Mohd e Nor (2009)	Malásia	Automóvel de passageiro / SI / Laboratório / um	Com intervenção	Encontrar as fontes vibro-acústicas de ruído num habitáculo do veículo de passageiros.	Principais fontes geradoras: vibração e ruído do motor, e ruído do cano de escape.
Ju e Yoo (2009)	EUA	Fonte acústica artificial / SI / Laboratório / um	Com intervenção	Medir a função de transferência de ruído do cano de escape.	A metodologia validou a eficácia da aplicação do conceito TPA para a análise do ruído do cano de escape.
Paularj, Melvin e Yaacob (2014)	Malásia	Automóvel de passageiro / SI / SI / 30	Com intervenção	Medir o conforto interno dos veículos.	Na condição estacionária, 89,51% apresentaram um melhor conforto acústico em comparação à condição em movimento (85,61%).
Esposito e Freeman (2002)	SI	Automóvel de passageiro / SI / Laboratório / um	Com intervenção	Comparar perda transmissão através do vidro laminado com várias espessuras.	Vidro laminado melhora a perda de transmissão sonora em 4dB na faixa de freq. entre 2.000 a 6.000Hz para mesma espessura e oferece economia de material de 12% em relação ao vidro temperado convencional.
Zhang et al 2013	China	Automóvel de passageiro / SI / Laboratório / quatro	Com intervenção	Medir o conforto interno dos veículos em quatro diferentes velocidades.	Com incremento de velocidade de 20km/h, eleva em média o nível de pressão sonora em 3dB. Valores máximos concentram-se em baixa frequência e abaixo de 160Hz.
Li et al (2011)	China	Automóvel de passageiro / SI / Laboratório / quatro	Com intervenção	Identificar as fontes de ruído interior do veículo.	Identificadas as maiores fontes de ruído: motor. Caixa de engrenagem e diferencial.

: Tipo de veículo automóvel / **Ano**: de fabrico do veículo / : realizado em Pavimento ou : realizado em laboratório / : número de veículos; **SI**: Sem Informação; **MEF**: Método dos Elementos Finitos. **SEA**: Statistical Energy Analysis. **TPA**: Transfer Path Analysis. **PCA**: Principal Component Analysis. **NPS**: Nível de Pressão Sonora.

Os autores das publicações utilizaram metodologias diferenciadas para medirem o ruído interno nos veículos automóveis, com e sem intervenção, aplicadas em laboratório e em trechos rodoviários. Alguns analisaram o ruído internos nos veículos automóveis por meio de ferramenta estatística ou por simulação pelo método de elementos finitos (MEF), através de *software* simulador. Estas informações estão agrupadas na Tabela 9.

Tabela 9: Identificação das metodologias

Autores	Número artigos	Metodologia
Gomez et al (2012); Putner, Lahrmann e Fastl (2013); Chen e Wang (2011); Fouladi, Mohd e Nor (2009); Ju e Yoo (2009), Esposito e Freeman (2002); Li et al (2011); Zhang et al (2013)	8	Com intervenção, em laboratório
Chen et al (2010); Chen, Geng e Wang (2010)	2	Sem intervenção, análise estatística, em laboratório
Achyut, Manoj e Ramkumar (2014)	1	Sem intervenção, em laboratório
Muhamad e Junoh (2012); Paularj, Melvin e Yaacob (2014)	2	Com intervenção, em movimento

A avaliação realizada pelas publicações selecionada, aponta que o ruído interno no habitáculo de veículo automóvel tem origem no painel e algumas partes das janelas/vidro e portas, durante a passagem aerodinâmica do ar pela estrutura do veículo; como também na vibração do motor e tubulação de escape, engrenagem e diferencial (Putner, Lohrmann, e Fastl 2013; Ju e Yoo 2009; Hosseini Fouladi, Nor, e Ariffin 2009; Li et al. 2011; Chen, Geng, et al. 2010).

Para o estudo realizado em laboratório, o veículo testado apresentou o valor máximo 45 dB(A) para a velocidade de 120 km/h, com variação até 3 dB(A) (Chen e Wang 2011). No entanto, em outro estudo realizado com quatro veículos, também em laboratório, apresentou para cada incremento de velocidade de 20 km/h, um nível de pressão sonora eleva 3 dB(A), concentraram-se nas frequências baixas, inferior a 16 Hz (Zhang et al. 2013).

A análise do material de absorção acústica do interior do habitáculo, o estudo de (Chen, Wang, et al. 2010), indicou uma redução do ruído em 37,47 dB(A), alcançada pela mudança e redução do peso em 0,8kg do material analisado. Estas constatações também foram complementadas nos estudos de Muhamad e Junoh (2012), Gomez et al. (2012) e Paularj, Melvin, e Yaacob (2014), que indicaram também que ajustes nos materiais de absorção acústica trazem significativas reduções no ruído interno dos veículos automóveis.

A escolha da metodologia adotada nos ensaios trazem variabilidade nos resultados, assim foi indicado por (Paularj, Melvin, e Yaacob 2014), que comparou a performance 89,51% na melhora do conforto acústico, obtido na condição metodológica estacionária, com a metodologia experimental na condição em movimento, a qual apresentou uma melhora no conforto acústico de 85,61%.

A redução do ruído interno na cabine dos veículos automóveis, tem representação significativa pela presença neste ambiente dos assentos, que reduzem 9 dB, e a combinação de assentos e tapetes reduzem 11 dB (Achyut, Manoj, e Ramkumar 2014).

A escolha do tipo de vidro como elemento de isolamento acústico, representa ganhos na redução do ruído interno na cabine veicular. Entre os tipos examinados, o vidro laminado melhora a perda de transmissão acústica em 4 dB, para a faixa de frequência entre 2.000 a 6.000 Hz para as espessuras dos vidros testados (Esposito e Freeman 2002).

Pelo descrito acima, percebe-se que a intenção dos autores foi avaliar o nível de ruído existente no interior do habitáculo dos veículos automóveis, sem o intuito que associar a exposição às pressões sonoras identificadas. Todos os artigos selecionados nesta revisão sistemática tinham como objetivo melhorar o conforto acústico no interior dos

veículos, com especial ênfase na melhoria das estruturas fixas e móveis e na substituição de materiais por outros com melhores propriedades de absorção do ruído e assim aumentar o conforto para os ocupantes. Vale lembrar, que esta exposição tem levado os investigadores a estudar os efeitos sobre a saúde humana, nas pessoas que circulam em vários ambiente, como doméstico, profissional e atividades de lazer (WHO 2015).

A leitura dos artigos selecionados, leva a avaliar a aplicação de suas metodologias. Há de se avaliar e questionar a ocorrência de viés que possa provocar alguma interferência nos resultados. Esta preocupação recai principalmente nas aplicações de metodologia na condição estacionária, por entender-se que várias situações conjugadas, como pavimento, pneus, modelo de veículo, entre outros, que podem ser relevantes ao comparar-se à condição em movimento (Kindt et al. 2009).

Os artigos não apresentam valores que representassem preocupação com o ruído interno nos automóveis. Gomez et al. (2012), nos gráficos que constam na sua publicação apresenta valores abaixo de 60 dB(A), sendo este valor correspondente a apenas um automóvel, analisado em laboratório. Nesta condição, conjugada a variação de pavimento e atrito com o pneu, podem apresentar interferência nos resultados, além de contribuir e ultrapassar o registo de 60 dB(A) (Bastos et al. 2015).

Ao analisar o valor apresentado por (Gomez et al. 2012), este não representa relevância, uma vez que o valor está abaixo do preconizado nas normativas de valores máximos para 8h de exposição diária permissível para os passageiros. Por exemplo, em Portugal a Lei n. 102 (Portugal 2009) e no Brasil a Portaria 3214 (Brasil 1978), normatizam em 85dB(A) para essa carga horária de exposição. Nos Estados Unidos é permitido 90 dB(A)⁷.

Na revisão sistemática não foi encontrado, em nenhum dos estudos selecionados, a abordagem dos efeitos que ruído no interior de habitáculo de automóvel tem sobre a saúde dos passageiros. Somente no artigo de Paularj, Melvin, e Yaacob (2014) identificou-se uma citação incipiente dos problemas de saúde dos passageiros vinculados à exposição ao ruído em habitáculos. No entanto, este não era o objetivo principal desta publicação. Os autores buscaram a comparação entre as metodologias de condição estacionário ou de movimento nos experimentos.

De maneira geral, os artigos selecionados na revisão sistemática apresentam estudos direcionados à melhoria do conforto acústico nos automóveis, através do aperfeiçoamento

⁷ OSHA: Occupational Safety & Health Administration. United States Department of Labor, USA. Acedido em 9 março 2015: <http://www.osha.gov>.

da estrutura, motor, materiais e pneus. Como os artigos identificados não abordaram a exposição ao ruído de pessoas em habitáculo de automóvel, vislumbra-se a necessidade de novos estudos com este aprofundamento, não apenas na melhoria do conforto acústico, mas também para avaliar o risco à saúde dos passageiros.

É importante salientar que nos habitáculos não chegam apenas os ruídos aos ocupantes, mas também há vibração, entre outras fontes de agressão à saúde, como passar longos períodos sentados na mesma posição, contaminação do ar por contaminantes químicos, entre outros. Todos estes fatores motivam a busca de melhorias no ambiente veicular.

No panorama científico identificou-se a ausência de informação que indique o nível de ruído no interior do habitáculo de automóvel associado à saúde do passageiro, sendo assim não se consegue ter valores expressivos dos níveis de ruídos que possam ser associados à doença ocupacional, diante das metodologias aplicadas, uma vez que estas metodologias foram aplicadas para os objetivos de seus autores e não de identificar o potencial de causa à doença para o ocupante dos veículos automóveis. Além destes temas citados, não foi identificado a abordagem em pesquisa com a presença a exposição ao ruído interno em habitáculos de veículos automóveis.

Com a identificação desta lacuna, apresenta com objetivo desta tese é avaliar a perda de transmissão acústica da parede abdominal de uma mulher grávida e utilizando como fonte de geração o ruído interno no habitáculo de veículo automóvel.

3. OBJETIVOS

Esta tese pretende observar qual a atenuação do ruído incidente pela parede abdominal de mulher grávida. Para esta pesquisa optou-se em avaliar o ruído interno em habitáculo de veículo automóvel, como fonte geradora do ruído.

3.1 Objetivo da Tese

O objetivo é observar a perda de transmissão acústica do ruído que incide na parede abdominal em mulher grávida e o que chega ao feto.

3.2 Objetivos específicos

Para obtenção do objetivo desta tese, dividiu-se em objetivos específicos:

1. avaliar o ruído no interior do habitáculo de veículo automóvel,
2. avaliar a espessura da parede abdominal em mulheres grávidas,
3. analisar analiticamente a perda de transmissão sonora na parede abdominal, através do método dos três meios, em 2D, e
4. simular a perda de transmissão sonora na parede abdominal, através do método de elementos finitos, em 2D e 3D.

No contexto de um ambiente veicular, o passageiro sentado no habitáculo do veículo automóvel receberá incidência da vibração, por fazer parte do sistema vibroacústico, e por estabelecer contato com os elementos do veículo: volante, banco, painel de piso e pedais (Genuit 2009). A avaliação realizada na parede abdominal descrita nesta tese, não considerou a vibração que chega ao passageiro.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido através de quatro objetivos específicos. No primeiro objetivo (E1) realizou-se a avaliação do ruído interno no habitáculo de veículo automóvel, dentro da faixa audível humana. No segundo objetivo (E2), procedeu-se a determinação da espessura da parede abdominal de mulheres grávidas. De posse destas informações passou-se a aplicação de modelo analítico conhecido, que correspondeu ao terceiro objetivo (E3). E paralelamente, o quarto objetivo (E4) correspondeu à simulação através do Método de Elementos Finitos (MEF) em duas e três dimensões (2D e 3D). A visualização do desenvolvimento da tese está ilustrada na Figura 20.

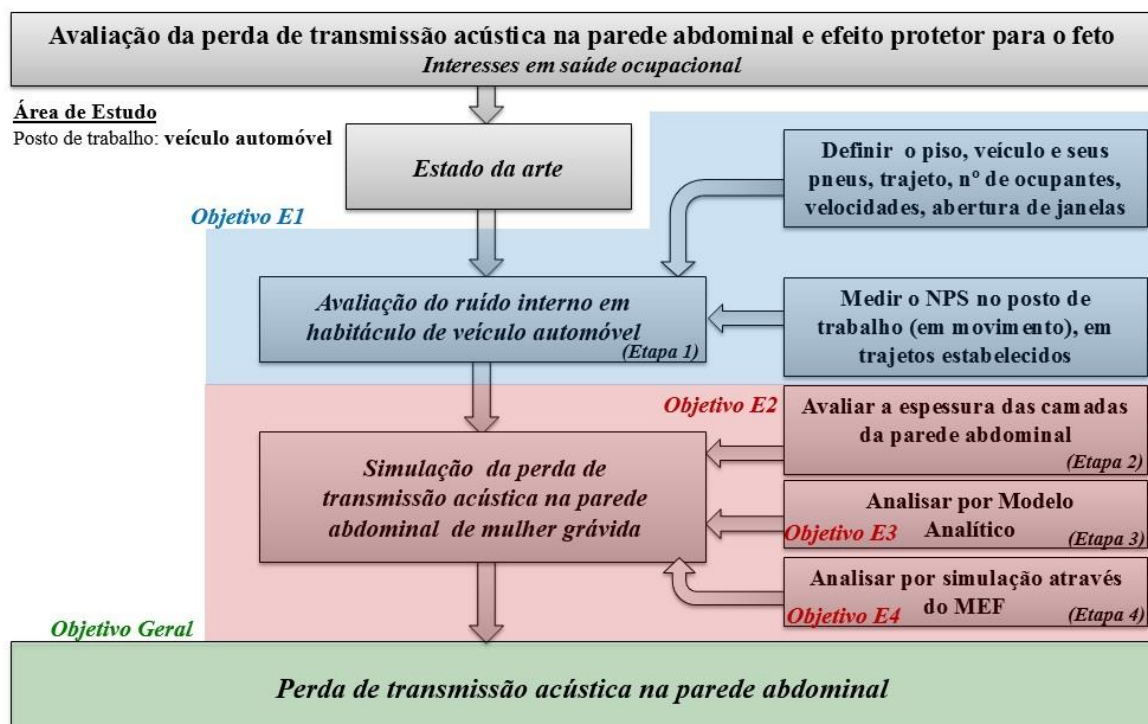


Figura 20: Fluxograma da aplicação metodológica de pesquisa

4.1 E1: avaliação do ruído interno em habitáculo de veículo automóvel

Este objetivo específico corresponde à avaliação do ruído gerado dentro de habitáculo de veículo automóvel. A recolha de dados foi realizada na cidade de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina, localizada na região sul do Brasil, como ilustra a Figura 21.



Figura 21: Localização da cidade de Florianópolis, Brasil.
Fonte: adaptado Cachoeira (2014)⁸ e LABGEO (2013)⁹.

4.1.1 Os veículos automóveis

A indicação dos veículos utilizados nesta recolha de dados, teve como base a realidade brasileira de comercialização de veículos. A adoção deste critério permitiu representar o quotidiano das pessoas usuárias destes veículos. Portanto, elegeram-se cinco veículos para serem submetidos a quatro diferentes superfícies de pavimentos rodoviários.

Antes de apresentar os veículos automóveis utilizados, é necessário a definição da nomenclatura adotada de acordo com a normativa brasileira, uma vez que a recolha de dados foi realizada no Brasil, mas que correspondem aos veículos ligeiros nomeados em Portugal. No Brasil a nomenclatura é regularizada pela NBR¹⁰ 13776 (ABNT 2006), como automóveis de passageiros da categoria M1.

Para estabelecer os critérios de indicação das marcas de veículos submetidos a avaliação, buscaram-se os dados da Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores (FENABRAVE). Os relatórios¹¹ da FENABRAVE apresentaram o ranking de fabricantes de veículos e por marcas, organizados por categoria, com a respectiva colocação, como apresentada na Tabela 10 e Tabela 11.

Os veículos cedidos para realização da avaliação interna dos habitáculos foram das marcas/modelo: FORD/Focus, FIAT/Palio Fire, FIAT/Palio Weekend, RENAULT/Fluence

⁸ Hotel Parador da Cachoeira, Mapa de localização. Acedido em 13 abril 2014. Disponível em: <http://hotelparador.com.br/florianopolis/localizacao/>.

⁹ LABGEO. Laboratório de Ensino de Geografia. Escola Básica Professora Herondina Medeiros Zeferino. 2013. . Acedido em 13 abril 2014. http://labgeoensino.blogspot.pt/2013/06/blog-post_359.html.

¹⁰ NBR: Norma Brasileira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT)

¹¹ Dados de Mercado, Relatórios da FENABRAVE (Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores). Acedido em 13 abril 2014: <http://www3.fenabrave.org.br:8082/plus/>>, acesso em: 3 abr. 2014).

e KIA/Picanto. Estas marcas/modelos estavam entre as 15 primeiras colocações do ranking, de acordo com os registos dos números de matrículas atribuídas no Brasil (acumulados entre os anos de 2009 a 2013). Como o planeamento da recolha de dados ocorreu em abril de 2014, acedeu-se também aos dados acumulados do relatório FENABRAVE do ano de 2014 corresponde aos meses de janeiro a março (1º trimestre).

Tabela 10: Ranking dos números de matrículas acumuladas, atribuídas por marcas de veículos, entre os anos 2009 a 2013 e janeiro a março/2014, no Brasil.

Fabricante	Ranking					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014 (1º trimestre)
FORD	4º lugar	4º lugar	4º lugar	4º lugar	4º lugar	4º lugar
FIAT	1º lugar	2º lugar	1º lugar	1º lugar	1º lugar	1º lugar
RENAULT	6º lugar	5º lugar	5º lugar	5º lugar	5º lugar	6º lugar
KIA	11º lugar	11º lugar	10º lugar	13º lugar	13º lugar	13º lugar

Fonte: FENABRAVE (2014)

Tabela 11: Ranking dos números de matrículas acumuladas, atribuídas por marca/modelo de veículos, entre os anos 2009 a 2013 e janeiro a março/2014, no Brasil.

Marca/Modelo	Categoria	Ranking					
		2009	2010	2011	2012	2013	2014 (1º trimestre)
FORD/Focus	Hatch médio	4º lugar	4º lugar	3º lugar	2º lugar	3º lugar	2º lugar
FIAT/Palio	Veículo de entrada	2º lugar	4º lugar	4º lugar	3º lugar	3º lugar	2º lugar
FIAT/Weekend	Sw médio	1º lugar	1º lugar	1º lugar	1º lugar	1º lugar	1º lugar
RENAULT/Fluence	Sedan médio	-----	18º lugar	8º lugar	5º lugar	5º lugar	6º lugar
KIA/Picanto	Monocab	6º lugar	6º lugar	6º lugar	7º lugar	6º lugar	8º lugar

Fonte: FENABRAVE (2014)

A FENABRAVE adota como categoria de veículos automóveis, de acordo com a NBR 13776 (ABNT 2006)¹², Resolução nº 291 (CONATRAN 2008)¹³ e Resolução nº 1101 (DENATRAN 2011)¹⁴. Com estas especificações normalizadas, apresenta-se na Tabela 12, classificação de acordo a categoria.

¹²ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnica.

¹³CONATRAN: Conselho Nacional de Trânsito, Brasil.

¹⁴DENATRAN: Departamento Nacional de Trânsito, Brasil.

Tabela 12: Especificações das categorias para veículos automóveis no Brasil

Tipo	Marca/Espécie	Categoria	Especificações ¹⁵
Automóvel	Passageiro	Hatch médio	O motor é mais potente que os veículos de entrada. Potência acima de 1000 cilindradas. Hatch é a abreviação de <i>hatchback</i> . Estes veículos integram o porta-malas ao compartimento de passageiros, o vidro traseiro é integrado à tampa do porta-malas.
		Monocab	Termo utilizado pela FENABRAVE para nomear minivans, pela priorização do aproveitamento do espaço interno.
		Sedan	É um veículo automóvel com duas fileiras de bancos, com espaço considerável no banco de trás, para três adultos. Possui o compartimento traseiro para bagagens, externo ao habitáculo dos passageiros e sua tampa <i>não</i> inclui o vidro traseiro.
		Sw	Estes veículos automóveis são geralmente veículos derivados de hatchbacks ou sedans. Isto é, são os sedans com os habitáculos estendidos por sobre o porta-malas. A tampa do porta-malas envolve a janela traseira.
		Veículo de entrada	São os modelos mais simples e pacote de opcionais o menor possível, de custo mais reduzido. Normalmente equipados com motor flex (Combustível simultaneamente a gasolina e a etanol) e capacidade do motor 1.0 (1000 cilindradas).

A categoria M1 é especificada pela NBR 13776 (ABNT 2006), como sendo “veículos projetados e construídos para o transporte de passageiros, que não tenham mais de que oito assentos. Além do assento do motorista”.

Pelos dados apresentados acima, tem-se justificado a representatividade dos veículos que fizeram parte da amostra, conforme nomeados e descritos na Tabela 13.

Tabela 13: Características dos veículos automóveis

Veículos		Marca/modelo	Ano/modelo	Quilometragem [km]	Massa [kg]
Veículo 1	V1	FORD Focus 1.6	2011/2011	78.306	1.340 ¹⁷
Veículo 2	V2	FIAT Palio Fire 1.0	2005/2006	61.422	920 ¹⁸
Veículo 3	V3	FIAT Palio Weekend 1.6	2008/2009	75.500	1.091 ¹⁹
Veículo 4	V4	RENAULT Fluence 2.0	2013/2014	9.810	1.369 ²⁰
Veículo 5	V5	KIA Picanto 1.0	2012/2013	76.602	970 ²¹

Obs.: Os dados de massa e suspensão foram retirados dos *sites* das montadoras

A Tabela 14 apresenta os detalhes de pneus dos veículos automóveis. Em todos os veículos as condições dos pneus eram similares. Os pneus possuíam seus desenhos de

¹⁵ Adaptado de Glossário de Carros e motos, disponível em: <http://g1.globo.com/carros/noticia/2012/08/glossario-de-carros-e-motos.htm>. Acesso. 22 nov 2015.

¹⁶ Classificação da pela Associação Brasileira de Normas Técnicas, através da NBR 13776 (ABNT 2006)

¹⁷ FORD/Focus: <http://www.ford.com.br/carros/focus-hatch/especificacoes/tecnicas>

¹⁸ FIAT/Palio: <http://www.icarros.com.br/ fiat/palio/ficha-tecnica>

¹⁹ FIAT/Weekend: <http://www.icarros.com.br/ fiat/weekend/ficha-tecnica>

²⁰ RENAULT/Fluence: <http://www.icarros.com.br/renault/fluence/ficha-tecnica>

²¹ KIA/Picanto: <http://www.icarros.com.br/kia/picanto/ficha-tecnica>

banda de rodagem com ranhuras (sulcos) de profundidade com variação de 5 a 7 mm (medidos com paquímetro).
















Tabela 14: Características dos pneus

Veículos	Fabricante	Modelo	Dimensão	Pressão de ar [psi]	Espessura dos sulcos [mm]	Estado
V1	BRIDGESTONE	Turanza	P205/55R16	29	7	Bom
V2	GOODYEAR	GPS 3 Sport	P175/70R13	30	7	Bom
V3	PIRELLI	Scorpion	P175/70R14 (Extra load)	28	6	Bom
V4	CONTINENTAL	ContiPremiumContact 2	P205/55R17	32	6	Novos
V5	KUMHO	Optimo K 406	P165/60R14	33	5	Novos

Fonte: adaptado NBR NM 224ABNT (2003) e manual técnico que acompanha o veículo

Além disso, a Tabela 15 ilustra as proteções de motor nos capôs²² de cada veículo.

Tabela 15: Veículos automóveis e seus detalhes de pneus e proteção de motor.

Veículos	Pneu	Proteção motor	
V1			
V2			
V3			
V4			
V5			

²² Capô é a parte superior da frente da carroçaria de um veículo automóvel, a qual corresponde à cobertura do motor.

Os detalhes das características dos veículos automóveis, seus pneus e suspensões estão descritos no Apêndice 1.

4.1.2 Equipamento sonómetro

A medição do ruído interno nos habitáculos dos veículos foi realizada com um sonómetro marca 01dB-Metravib, cedido pelo Laboratório de Vibrações e Acústica (LVA) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). As especificações do equipamento estão descritas na Tabela 16 e a Figura 22 permite a visualização do referido equipamento.

Tabela 16: Descrição das especificações do sonómetro

	Medidor de Nível Sonoro	Pré-amplificador	Calibrador	Microfone
Fabricante	01dB-Metravib	01dB-Metravib	01dB-Metravib	GRAS
Tipo	SOLO 01	PRE 21 S	Cal21	MCE 212
Número de série	11639	12209	35242486	57747



Figura 22: Sonómetro utilizado na medição do ruído interno nos habitáculos dos veículos automóveis.

Para complementar as especificações do equipamento utilizado nas medições, o sonómetro é acompanhado do calibrador acústico, também pertencente ao acervo do Laboratório de Vibrações e Acústica da UFSC. Na Tabela 16, inclui-se os dados: Classe 1, NPS 94,15 dB (ref. 0,00002 Pa) e frequência 1000 Hz. A Figura 23 apresenta o calibrador utilizado.



Figura 23: Calibrador acústico

A calibração do equipamento medidor de nível de pressão sonora, foi realizada sempre antes de se iniciar os procedimentos de recolha dos dados. O calibrador acústico atendeu ao requisito de ser da mesma marca do medidor, para que moldasse perfeitamente no acoplamento do microfone ao calibrador e a certificação de calibração (Giampaoli, Saad, e Cunha 2001).

4.1.3 Pavimentos e recolha de dados

As superfícies estabelecidas para a realização das medições foram de pavimentação em lajotas, paralelo, asfalto e sem pavimentação (“em terra”). A Tabela 17 apresenta os pavimentos, nos quais foram submetidos os veículos durante as medições.

Tabela 17: Pavimentação das superfícies

Piso	Imagem	Piso	Imagem
Intertravado: Lajota ²³		Asfalto	
Paralelo ²⁴		Sem pavimento "em Terra"	

²³ **Lajota:** Tipo de pavimento semirrígido utilizado no Brasil. O pavimento é intertravado com blocos pré-moldados de concreto. As lajotas são artefatos de cimento com forma sextavada. ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland). Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/basico-sobre-cimento/aplicacoes/artefatos-de-cimento>. Acesso em 12 out 2015.

²⁴ A denominação no Brasil deste pavimento é **Paralelepípedo**.

As medições de ruído interno nos habitáculos dos veículos automóveis em movimento foram realizadas em etapas. Na primeira saída a campo efetuou-se uma averiguação dos locais na cidade de Florianópolis/SC, que pudesse atender aos critérios de medição. Isto é, os trajetos selecionados teriam que garantir a segurança e a execução da recolha dos dados. E ainda, que não tivesse movimentação intensa de outros veículos, de modo a não alterar e/ou interromper a dinâmica estabelecida para as medições. No entanto, os períodos de tempo, declividade e tamanho dos trechos percorridos não foram pré-fixados, visto que a velocidade foi mantida durante o percurso e assim registrar os espectros sonoros (níveis de pressão sonora em função da frequência) dentro dos habitáculos dos veículos em movimento. A intensão foi reproduzir a situação de exposição sonora mais próxima da realidade, vivida por uma mulher grávida no interior do habitáculo de um veículo automóvel em movimento.

A velocidade operacional nos trajetos não excedeu a 60 km/h, sendo assim, a velocidade no ensaio atingiu o intervalo de 50 e 60 km/h para os trajetos selecionados na cidade de Florianópolis. Os trajetos estão especificados na Tabela 18.

Tabela 18: Dados gerais dos trajetos submetidos às recolhas de dados na cidade de Florianópolis/SC, Brasil.

Pavimentos	Trajetos				
	Logradouro	Bairro	Referência	Extensão médio (m)	Coordenadas geográficas
Lajota	Praça Padre José Anchieta	Córrego Grande	Loteamento Parque São Jorge	740	S 27° 35' 49,68" W 48° 30' 11,24"
Paralelo	Avenida Itamarati	Itacorubi	Entrada pela Rodovia Admar Gonzaga, próximo à CELESC ²⁵	320	S 27° 45' 15,43" W 48° 29' 48,61"
Asfalto	Rodovia João Gualberto Soares	São João do Rio Vermelho	Reta de acesso a ETE ²⁶ da Barra da Lagoa	1.200	S 27° 33' 29,10" W 48° 26' 13,26"
Sem Pavimento (em Terra)	Parque Estadual do Rio Vermelho	São João do Rio Vermelho	Acesso dos barcos para Lagoa da Conceição, no Distrito de Rio Vermelho	500	S 27° 32' 52,04" W 48° 26' 29,20"

Os detalhes de localização dos trajetos de superfícies em lajota e paralelo estão apresentados na Figura 24.

²⁵ CELESC: Centrais Elétricas de Santa Catarina S.A. (Distribuidora de energia elétrica para o Estado de Santa Catarina, Brasil)

²⁶ ETE: Estação de Tratamento de Esgoto



Figura 24: Mapa de localização dos trajetos de pavimento em lajota e paralelo (sem escala)
Fonte: adaptado de Geoprocessamento Corporativo²⁷ – PMF/IPUF (Florianópolis 2014)

Os detalhes dos trajetos das superfícies em asfalto e sem pavimentação estão apresentados na Figura 25.

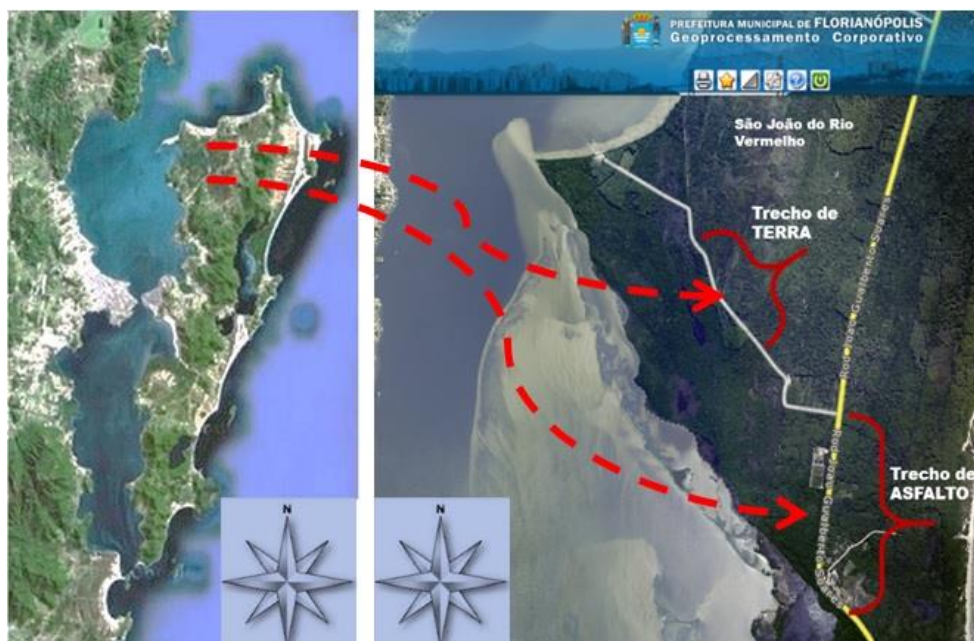


Figura 25: Mapa de localização dos trajetos de pavimento em lajota e paralelo (sem escala)
Fonte: adaptado de Geoprocessamento Corporativo – PMF/IPUF (Florianópolis 2014)

No dia 29/04/2014 realizou-se uma da recolha de dados, que serviu para definição e ajustes dos trajetos estabelecidos. Fixados os procedimentos, as medições efetivas para a

²⁷ FLORIANÓPOLIS. Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis. **Geoprocessamento corporativo de Florianópolis**. 2014. Acedido em 25 maio 2014. Disponível em: <http://geo.pmf.sc.gov.br/geo_fpolis/index3.php>.

pesquisa foram realizadas nos dias 13, 20 e 27 de maio de 2014. As condições climáticas dos dias em que foram efetuadas as recolhas de dados estão apresentadas na Tabela 19

Tabela 19: Condições climáticas dos dias em que foram efetuadas as recolhas de dados

Data	Temperatura média	Condições meteorológicas
13/05/2014	20,0°C	Ensolarado
20/05/2014	20,0°C	Nublado
27/05/2014	17,5°C	Ensolarado

Fonte: CIRAM²⁸ (2014)

Durante as medições do ruído interno nos habitáculos dos veículos automóveis em movimento, o sonómetro foi amparado nas mãos do operador à altura do peito. O operador encontrava-se sentado no banco da frente, ao lado do motorista. A altura do sonómetro correspondeu a 90 cm, na média dos veículos. A Figura 26 mostra este posicionamento durante a recolha dos dados.



Figura 26: Posicionamento do medidor do nível de pressão sonora.

equências das medições seguiram o protocolo de disponibilidade firmado com os proprietários, que voluntariamente cederam seus veículos automóveis para serem submetidos às superfícies de pavimentos escolhidos para esta avaliação. Os veículos foram reunidos nos mesmos dias de medição. Durante as medições, o rádio permaneceu desligado, as janelas fechadas e os ocupantes em silêncio por todo o percurso. As pessoas que ocupavam os veículos eram as mesmas em todas as medições.

O sonómetro registou os níveis de pressão sonora a cada segundo e armazenou o nível de pressão sonora equivalente (L_{eq}) correspondente ao tempo que durou o percurso do veículo no trecho. De posse dos dados armazenados das medições, estes foram transferidos para uma folha cálculo eletrônica (Microsoft Excel[®]). As análises dos dados

²⁸ **CIRAM:** Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina, vinculado à EPAGRI (Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural do Estado de Santa Catarina), Secretaria de Estado da Agricultura e da Pesca, Governo do Estado de Santa Catarina, Brasil. Dados fornecidos pelo CIRAM.

foram efetuadas para os valores de Nível de Pressão Sonora Equivalente Global (Leq) em [dB]²⁹ e [dB(A)]³⁰.

Com registos dos Leq nos habitáculos dos veículos, nos diferentes pavimentos, realizou-se análise estatística, que consistiu de uma parte descritiva, com o intuito de apresentar de forma resumida os dados, e de uma parte inferencial, com o objetivo de identificar a existência de diferenças estatisticamente significativas nos dados dos experimentos de análise da Leq nos métodos desenvolvidos.

Na análise descritiva fez-se a determinação de estatísticas descritivas básicas: tamanho da amostra (n), média, desvio padrão da média, mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo (Bussab e Moretin 2002).

Na análise inferencial (ANOVA – análise por variância) verifica-se a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos dados coletados nos experimentos de análise do Leq e pela aplicação do teste de Tukey, que identifica a existência de grupos homogêneos de valores médios (Neter, Wasserman, e Kutner 1990).

A análise estatística foi desenvolvida com o *software* STATISTICA³¹ (STATSOFT, 2001), com o suporte do *software* Microsoft Excel[®]. A Figura 27 sintetiza o número de registos de Leq correspondentes a cada frequência de banda de 1/3 de oitava, para cada veículo, nos pavimentos.

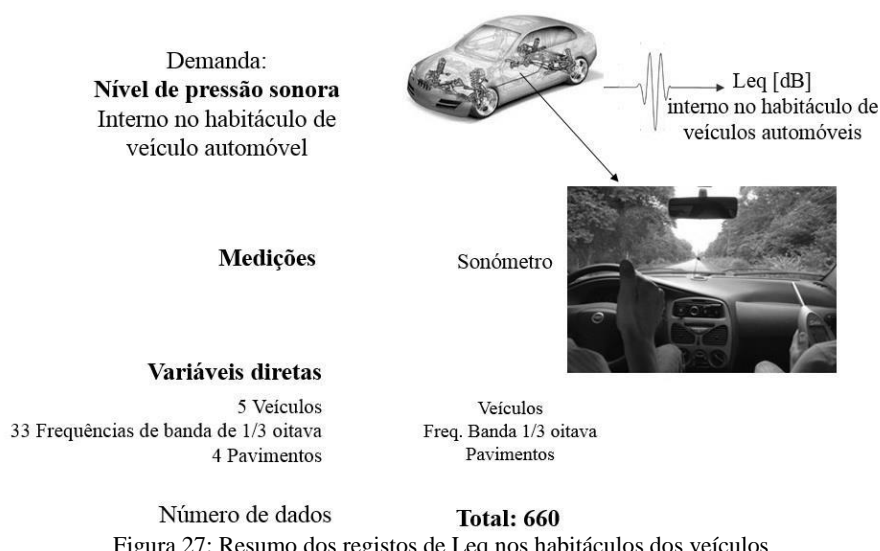


Figura 27: Resumo dos registos de Leq nos habitáculos dos veículos

²⁹ [dB]: unidade decibel

³⁰ [dB(A)]: unidade decibel na curva de ponderação A

³¹ STATSOFT. Inc. **STATISTICA (data analysis software system)**. Version 7. 2004. www.statsoft.com

4.2 E2: Avaliação da espessura da parede abdominal de uma mulher grávida

Para definir a espessura da parede abdominal de uma mulher grávida, foi efetuada uma pesquisa da literatura com o intuito de identificar informações que pudessem determinar a espessura das camadas do abdômen da mulher durante a gestação. Dado não se ter encontrado nenhuma informação útil sobre esta questão, procedeu-se à determinação da espessura da parede abdominal das gestantes por ultrassonografia. Para este procedimento, contamos com a colaboração de um profissional especialista em ultrassonografia, que nos auxiliasse nesta determinação. O contato foi estabelecido com a médica ultrassonografista, da Clínica Imagemed.

Acordou-se com a médica ultrassonografista que as medições seriam realizadas nas suas pacientes sem patologia, durante os exames de ecografia morfológica agendados. Este exame é realizado como rotina de acompanhamento às mulheres grávidas, entre as 18 e a 24 semanas de idade gestacional³².

Os exames ecográficos foram realizados na Clínica Imagemed, situada na cidade de Joinville/SC, Brasil. A Figura 28 ilustra a localização da Clínica e o equipamento de ultrassonografia utilizado nos exames morfológicos foi da marca Toshiba, modelo Xario 200, sonda convexa 3,5 MHz.

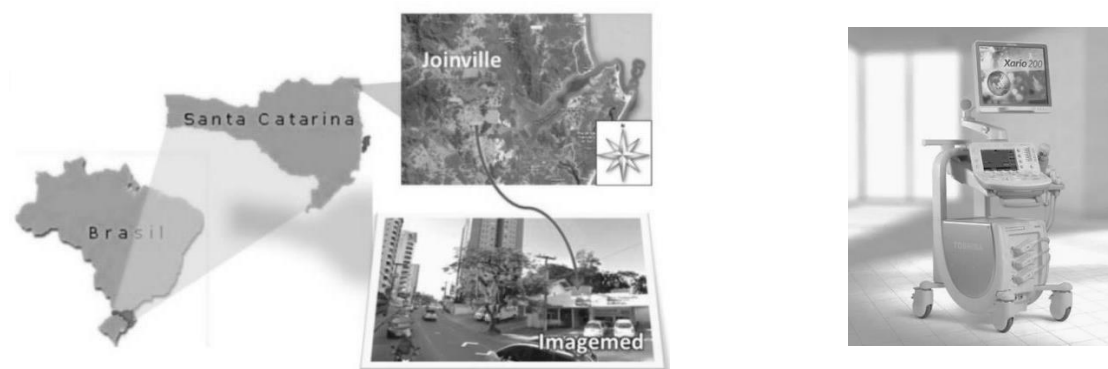


Figura 28: Localização da Clínica Imagemed, Joinville/SC, Brasil.

Fonte: adaptado Cachoeira³³ (2014) e Google³⁴, Toshiba³⁵ (2015)

³² Nestes intervalos de idade gestacional, as mulheres grávidas são submetidas ao exame morfológico, como objetivo de examinar a anatomia interna e externa fetal, com o intuito de detectar malformações graves e avaliar “marcadores biofísicos” ou ecográficos de anomalias cromossômicas e/ou genéticas. Sendo assim, os itens examinados são: o número de fetos, a localização da placenta, a medida do colo uterino (via vaginal) e a morfologia fetal (pólo cefálico, cérebro, face, coluna, nuca, tórax, coração, abdômen, aparelho genito-urinário, extremidades, etc). O exame morfológico, através da ultrassonografia morfológica, permite a avaliação mais completa da anatomia do feto (Salomon et al. 2011)

³³ Cachoeira, Hotel Parador, Mapa de localização. Acedido em 10 abril 2014:

<http://hotelparador.com.br/florianopolis/localizacao/>.

³⁴ Google maps. Acedido 24 novembro 2015: <https://www.google.pt/maps/place/Joinville,+SC,+Brasil>.

³⁵ Toshiba Medical Systems Europe. Acedido 25 novembro 2015: <http://www.toshiba-medical.eu/eu/product-solutions/diagnostic-ultrasound/xario-200-overview/>.

O período gestacional escolhido está de acordo com o desenvolvimento do sistema auditivo e a realização por rotina de ecografias recomendadas na vigilância da gravidez (Salomon et al. 2011).

Foram definidas as características das grávidas que foram submetidas às medições, nomeadamente faixa etária e índice de massa corporal (IMC). A seguir, justifica-se a adoção dos requisitos que definiram o biótipo da mulher grávida identificada para a medição da espessura da parede abdominal.

4.2.1 Idade das mulheres grávidas

Para analisar o parâmetro estabelecido para a idade das mulheres participantes das medições, buscou-se informações que embasassem a adoção da faixa etária do grupo amostral. A consulta foi realizada no banco de dados estatísticos do Brasil e Portugal. Por estes dados, observa-se uma maior percentagem de partos na faixa etária de 23 a 34 anos. A visualização dessa afirmação está apresentada pelas figuras a seguir. A Figura 29 mostra os dados do Censo Demográfico de 2000 e 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)³⁶, o qual se refere à população brasileira. A faixa etária de 23 a 34 anos identificada no Censo Demográfico Brasileiro, corresponde aos grupos etários que apontaram um padrão de fecundidade mais tardio.



Figura 29: Distribuição relativa (%) das taxas de fecundidade no Brasil, para os períodos de 2000/2010.
Fonte: adaptado de IBGE (2012)

³⁶ IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo demográfico 2010: resultados gerais da amostra, 2012. Acedido em 8 dezembro 2014: <http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/00000008473104122012315727483985.pdf>.

A especificidade das taxas de fecundidade em Portugal, apresentada Figura 30, com base nos dados apresentados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), apontaram as maiores taxas para os grupos etários de 24-29 e 30-34 anos.

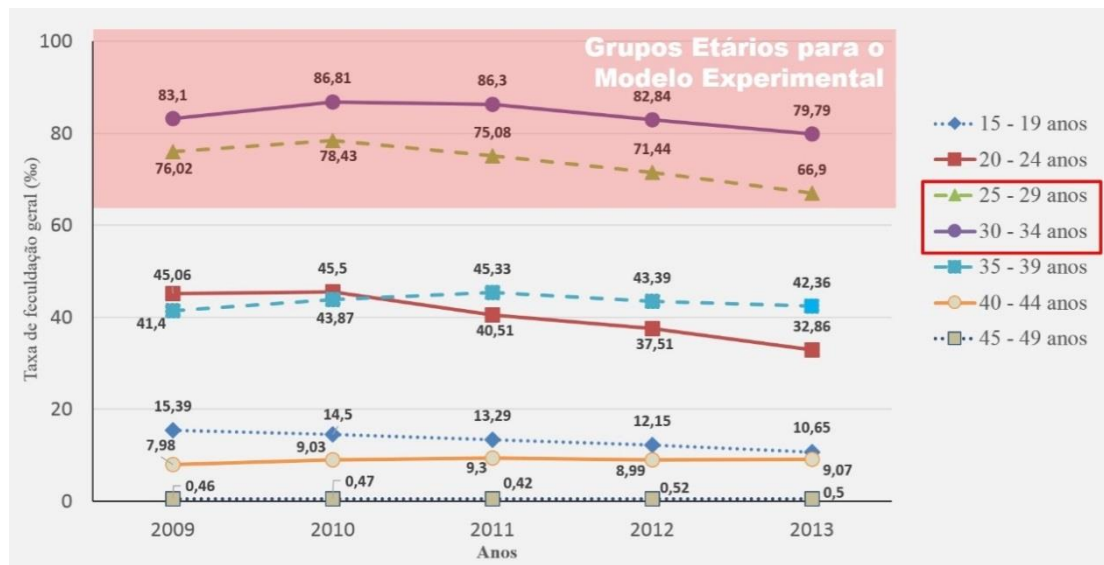


Figura 30: Taxa de fecundação por grupo etário em Portugal. Fonte: adaptado de INE (2014)³⁷

4.2.2 Índice de Massa Corporal (IMC)

Para melhor representar a mulher grávida é adotado o índice de massa corporal (IMC) na faixa de 18,5 a 29,9 kg/m². Este valor é classificado como “normal”, isto é, fora da faixa considerada de “baixo peso” ou “excesso de peso”, de acordo com Institute of Medicine of the National Academies, citado no Relatório de Consenso sobre a Diabetes e Gravidez³⁸, de 2011, página 21. Adotou-se a faixa de IMC normal para uniformizar a amostra, de modo a eliminar as interferências das espessuras da camada adiposa, pela diversidade da composição corporal das mulheres grávidas.

Na avaliação da espessura da parede abdominal, foram incluídas as grávidas que apresentassem os critérios de inclusão descritos na Tabela 20.

Dado ser este um exame efetuado por rotina na vigilância da gravidez, não se considerou necessária a obtenção de consentimento informado escrito, pois apenas foram utilizados dados de avaliações efetuadas por motivos alheios ao presente estudo.

³⁷ INE, Instituto Nacional de Estatística de Portugal. Taxa de fecundidade geral (%) por Grupo etário; Anual. Revisado em 16/06/2014 Acedido em 15 dezembro 2014:

http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0001540&contexto=bd&selTab=tab2.

³⁸ Relatório de consenso sobre a diabetes e Gravidez. 2011. Acedido em 7 dezembro 2014:

<http://www.dgs.pt/documentos-e-publicacoes/relatorio-de-consenso-sobre-diabetes-e-gravidez.aspx>.

Tabela 20: Características da mulher grávida para submissão às medições.

Características da mulher grávida	Parâmetros adaptados para o modelo experimental
Período gestacional [semanas]	20-24
Idade [anos]	25-35
IMC [kg/m ²]	18,5 - 29,9

4.2.3 Medição da espessura da parede abdominal

Determinadas as características da mulher grávida, estas foram transmitidas à médica ultrassonografista. Assim, de acordo com os exames agendados, ela verificou quais as pacientes que poderiam participar nas medições da espessura da parede abdominal. As pacientes que preencheram os critérios de inclusão, foram informadas e solicitou a elas a recolha dos dados para tratamento estatístico.

As medições foram realizadas para aferir as espessuras das camadas que compõem a parede abdominal: pele, tecido adiposo, músculo abdominal reto, parede uterina e placenta quando estava posicionada na parede anterior do útero. Definiu-se para melhor representatividade da espessura da parede abdominal, que as medições fossem realizadas na região umbilical. Mais precisamente, na região supra umbilical (RSU, acima do umbigo) e na região infra umbilical (RIU, abaixo do umbigo). Portanto, em cada exame morfológico, foram efetuadas duas medições em cada paciente.

As áreas abdominais definidas para as medições tiveram como referência as alterações anatómicas ocorridas durante a gravidez. Ao longo da gravidez, os músculos retos abdominais maternos afastam-se e ocorre a nomeada diástase³⁹. A diástase poderá ser visível após o parto e estender-se acima e abaixo do umbigo. Há casos que ocorrem apenas abaixo do umbigo. Os retos abdominais, mesmo que reabilitados ficarão afastados cerca de 1,5 a 2,0 cm. Por isso a necessidade de que estejam fortalecidos (Polen e Mantle 2000 citado em Borges e Velentin 2002, 3). A Figura 31 ilustra a localização das regiões supra e infra umbilicais estabelecidas para esta pesquisa. Estas regiões, pela ocorrência da diástase, passam a ser pontos da parede abdominal da grávida de menor espessura.

³⁹ Diátase, neste caso de mulheres grávidas, significa a separação entres os músculos retos abdominais (Borges e Velentin 2002)

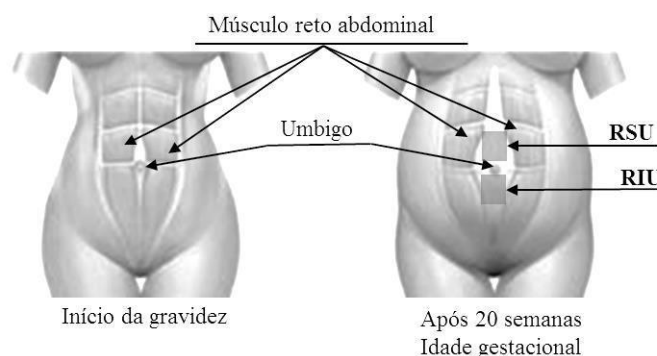


Figura 31: Localização da região supra umbilical (RSU) e infra umbilical (RIU).
Fonte: adaptado de Borges e Velentin (2002, 2) e Ginecologia e Saúde (2015)⁴⁰

As medições ocorreram de abril a dezembro de 2015. Os dados eram reunidos e encaminhados por correio eletrônico (e-mail). Depois dos dados agrupados, foram analisados, para serem utilizados na etapa de análise analítica e na simulação pelo MEF.

A determinação da espessura da parede abdominal por meio do ultrassom, teve como procedimento a colocação do transdutor sobre a superfície da pele das pacientes que estavam a realizar a ecografia morfológica. A imagem é gerada pelos sinais de reflexão da onda, como especificada na Figura 32. Após a visualização da região abdominal previamente definida, a imagem é fixada, e as distâncias pretendidas foram medidas diretamente pelo equipamento e registradas nas imagens.

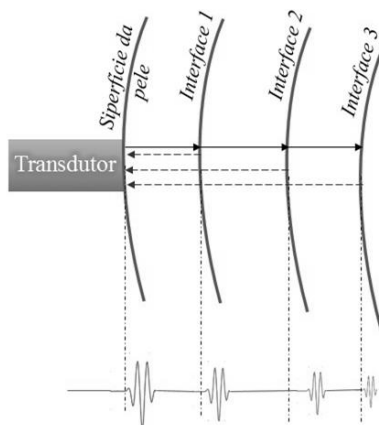


Figura 32: Reflexão da onda no equipamento de ultrassom na parede abdominal.
Fonte: adaptado de Chudleigh e Thilaganathan (2004, 4)

⁴⁰ Ginecologia e Saúde. Acedido em 14 outubro 2015: <http://www.meninadeargola.com.br/tem-cura-para-a-diastrase-abdominal-acompanhada-de-flacidez/>.

As Figura 33 e Figura 34 apresentam as imagens da medição da espessura da parede abdominal de uma paciente durante o exame morfológico, para ilustrar como foram obtidos os valores das espessuras das camadas.

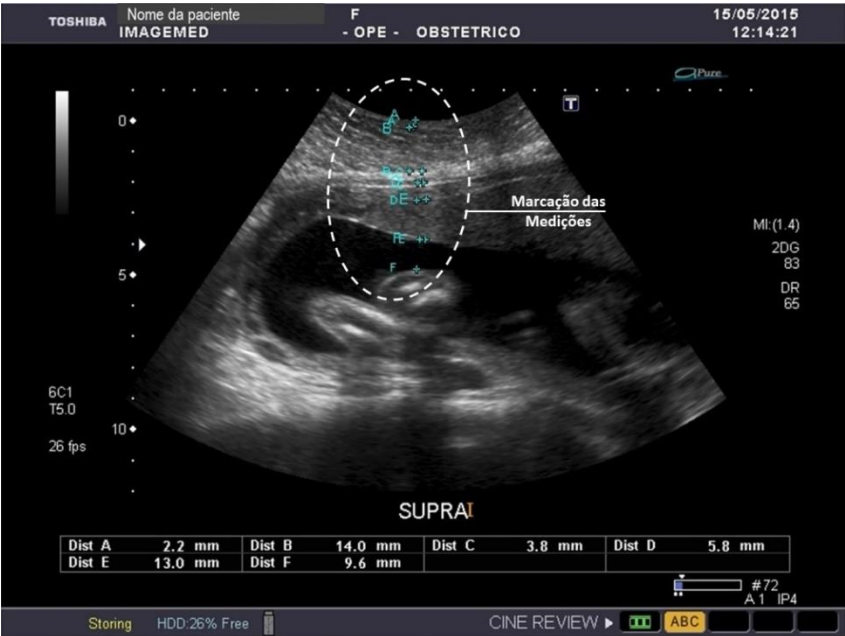


Figura 33: Imagem de uma das medições, pela região RSU

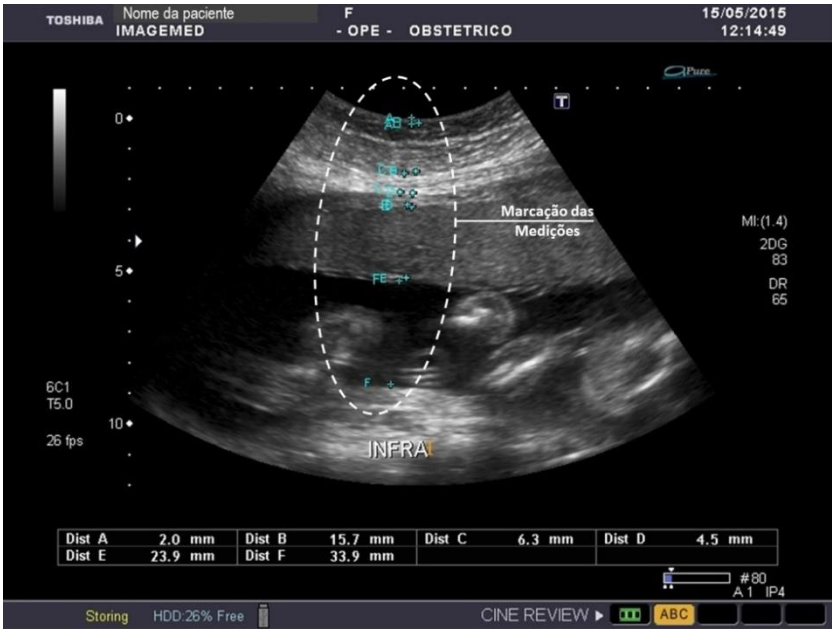


Figura 34: Imagem de uma das medições, pela região RIU

A Figura 35 ilustra a medição da distância entre a superfície da pele (próximo ao umbigo materno) e o ouvido do feto. Este valor auxiliará na análise matemática prevista para aplicação dos modelos.



Figura 35: Imagem da medição da distância entre a superfície da pele e o ouvido do feto. A imagem registou 44,3 mm, correspondente a essa distância.

Os dados das espessuras das camadas das paredes abdominais foram submedidas à análise estatística. Os valores numéricos obtidos nas medições são diversificados e optou-se em reunir três grupos para representar a parede abdominal. Os grupos foram as menores espessuras, as espessuras médias e as maiores espessuras de cada camada. Dos três grupos o das menores espessuras das camadas representa a situação mais desfavorável. As maiores espessuras representam uma situação de favorecimento na atenuação da transmissão sonora. E as espessuras médias a situação mediana entre os grupos anteriores.

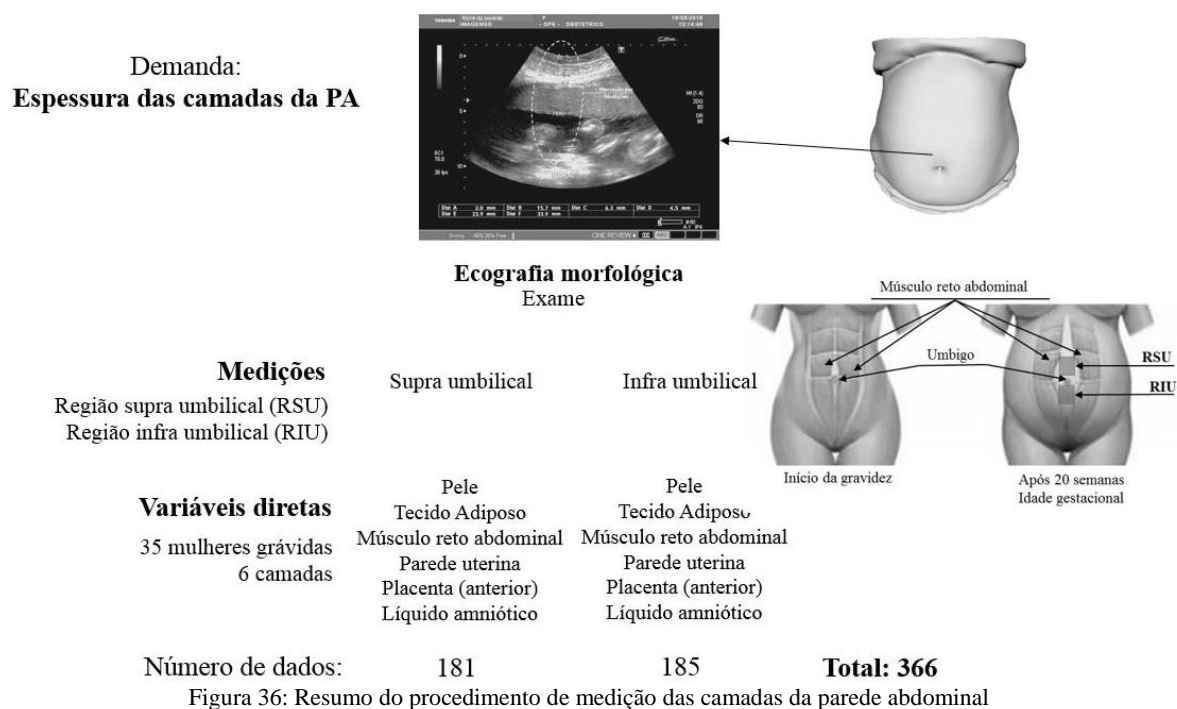
Os dados obtidos nas medições das espessuras das camadas da parede abdominal estão descritos no Apêndice 2. O número de mulheres examinadas no período foi de 35 mulheres. Considerou-se todos os dados do total de mulheres da amostra.

Todavia, por se tratar de um experimento, os níveis dos fatores definidos para os testes estatísticos têm que estar sobre o controle do pesquisador e representar da melhor forma a realidade (Andrade e Ogliari 2010). Por esta consideração, na modelagem da espessura abdominal foram realizadas medidas em camadas abdominais reais existentes em grávidas. Sobre as medidas realizadas foram determinadas as estatísticas descritivas básicas (mínimo, média, desvio padrão, máximo) para entender o comportamento dimensional desse fator. Considerou-se que nos testes estatísticos as possibilidades de um fator devem ser testadas, fez-se a definição do fator Espessura em três níveis:

- nível inferior (espessura mínima): dimensão mínima a ser considerada, representada pela soma dos valores mínimos de todas as camadas;

- nível médio (espessura média): dimensão média a ser considerada, representada pela soma dos valores médios de todas camadas, e
- nível superior (espessura máxima): dimensão máxima a ser considerada, representada pela soma dos valores máximos de todas camadas.

A Figura 36 está ilustrado o resumo dos procedimentos de medição das camadas da parede abdominal, que geraram 366 espessuras.



4.3 E3: Análise por modelo analítico da PTS: através de três meios

Para a análise analítica optou-se pela aplicação do cálculo da “perda de transmissão sonora através de três meios”. Neste contexto, as ondas sonoras foram consideradas ondas planas⁴¹, que propagaram por meios homogêneos de camadas dispostos perpendicularmente à direção de propagação (Vér e Baranek 2006; Gerges 2000; Temkin 2001; Kinsler e Frey 1962), como apresenta-se na Figura 37. Esta análise corresponde a condição espacial de 2D.

⁴¹ **Onda plana** é denominada pela pulsão de movimento da onda no meio em que se propaga, através da transferência em cadeia da energia pelos choques de uma partícula para outra da região próxima à fonte. Pela migração das partículas, entre as regiões, ocorre a perturbação, transmitida de partícula a partícula na forma de uma onda (Bistafa 2011).

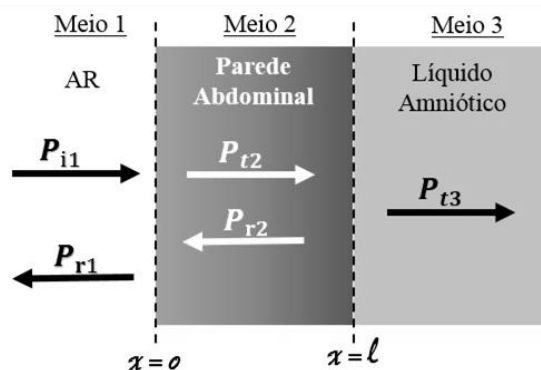


Figura 37: Transmissão da onda sonora através de três meios, em 2D.

P_{i1} : Pressão sonora incidente no Meio 1;
 P_{r1} : Pressão sonora refletida no Meio 1;
 P_{t2} : Pressão sonora transmitida no Meio 2;
 P_{r2} : Pressão sonora refletida no Meio 2;
 P_{t3} : Pressão sonora transmitida no Meio 3.

Fonte: adaptado de Vér e Baranek (2006) e Gerges (2000)

O cálculo da PTS foi realizado com o uso da Equação 29 para obtenção do coeficiente de transmissão (α_t) e a Equação 32 para obtenção da PTS no meio 2. Para esta situação a Equação 30, foi aplicada a Equação 41 para as condições em que k_2 terá as características da parede abdominal.

$$k_2 = \frac{2\pi f}{c_2} \quad \text{Equação 41}$$

Onde:

k_2 : número de onda no Meio 2

f : frequência, expressa em [Hz]

c_2 : velocidade de propagação do som no meio 2, corresponde à média das velocidades de propagação das ondas sonoras nas camadas que compõem ao Meio 2 (pele, tecido adiposo, músculo abdominal, útero e placenta). Apresentada na Tabela 21.

Tabela 21: Densidade, velocidade do som e impedância acústica das camadas do Meio 2

Meio 2	Densidade		Velocidade de propagação do som [m.s ⁻¹]	Impedância acústica [kg.cm ⁻²].x10 ⁶
	[g.cm ⁻³]	[kg.m ⁻³]		
Pele	1,150	1.150,0	1.730	1,99
Tecido adiposo	0,950	950,0	1.450	1,38
Músculo (fibras longitudinais)	1,065	1.065,0	1.575	1,68
Músculo (fibras transversais)	1,065	1.065,0	1.590	1,69
Parede Uterina	1,067	1.066,7	1.575	1,68
Placenta	1,043	1.043,2	1.575	1,64
Valor médio para o Meio 2	1,057	1.056,6	1.582,5	1,67

Fonte: adaptado de Azhari (2011), Zhang et al. (2004) e Nero et al. (2002)

Ressalta-se, mais uma vez, que o Meio 2 foi considerado como um meio único. Para atender esta condição, utilizou-se a média dos valores correspondentes às camadas para as variáveis densidade (ρ_2) e velocidade de propagação do som (c_2).

Para a definição da velocidade de propagação do som no meio líquido, para o caso desta tese, no líquido amniótico, buscou-se a analogia com o som na água pelas suas características similares, uma vez que a densidade é muito próxima à da água, $1,006 \text{ g.cm}^{-3}$ (Rebelo e Patrício 2013). Portanto, no meio líquido, a propagação do som tem influência direta da temperatura e do teor de cloretos, como é o caso para água do mar, isto é, terá influência da salinidade do meio (Kinsler e Frey 1962, 461). O autor ainda apresenta a Equação 42 para calcular a velocidade do som no meio líquido como sendo:

$$c_3 = 1449 + 4,6t - 0,055t^2 + 0,0003t^3 + (1,39 - 0,012t)(S - 35) + 0,017d \quad \text{Equação 42}$$

Onde:

- c_3 : velocidade de propagação do som no líquido no Meio 3, em [m/s]
- t : temperatura do meio, em [$^{\circ}\text{C}$], a temperatura considerada no Meio 3: 36°C
- S : salinidade⁴², em [ppm]
- d : distância em que a onda se propaga, em [m].

Vale ressaltar que para o caso desta tese, a distância em que a onda se propaga pelo Meio 3, corresponde à determinação da diferença algébrica do valor medido entre a superfície externa da pele até o ouvido do feto e a espessura da parede abdominal.

A análise analítica da perda de transmissão sonora através da parede abdominal, foi realizada com o auxílio das folhas de cálculo do *software* Microsoft Excel[®].

4.3.1 Nível de pressão sonora transmitido no meio 3, NPS

O ruído ao passar pela parede abdominal reduzirá o valor em dB, que representa a PTS (Gerges 2000). Dessa forma, tem-se matematicamente expresso pela Equação 43:

$$NPS_t = NPS_i - PTS \quad \text{Equação 43}$$

Onde: NPS_t : Nível de pressão sonora transmitido, em dB.

NPS_i : Nível de pressão sonora incidente, em dB.

PTS : Perda de transmissão sonora, em dB.

⁴² A variável S (salinidade), corresponde à concentração de sais dissolvidos no Meio 3 (líquido amniótico). Esta concentração de sais dissolvidos será a concentração de cloreto de 109 mEq/L , para o período gestacional de 24 semanas (Rebelo e Patrício 2013).

Como a recolha de dados foi realizada em cinco veículos automóveis e em quatro pavimentos, utilizou-se as frequências identificadas em cada veículo e nos respectivos pavimentos, obtém-se os valores *NPSt*.

4.4 E4: análise da PTS por simulação através do MEF

A utilização do MEF permite a simulação e a comparação com a análise analítica. Esta simulação com base no MEF, através do *software Abaqus*® versão 6.14.1, proporciona a análise da perda de transmissão da onda sonora na parede abdominal de uma mulher grávida. E assim se pode comparar com os resultados obtidos e descritos no subcapítulo 4.3.

O MEF é um modelo matemático que permite a análise do comportamento de qualquer sistema físico rígido por equações diferenciais ou integrais, que permite a reprodução, para esta simulação, a parede abdominal. Caracteriza os detalhes construtivos da parede abdominal, com as informações básicas e relevantes para a equalização da consistência matemática e a conceituação física (Soriano 2009).

MEF baseia-se na lei polinomial e permite a divisão da região em análise em áreas planas, de formas geométricas simples, isto é, triangular, tetraédrica, cúbica, entre outras. Os elementos finitos têm a forma pré-estabelecida e são interconectados por pontos nodais (Soriano 2009, p. 8). A Figura 38 apresenta exemplos de formas geométricas que podem ser usadas na simulação pelo MEF.

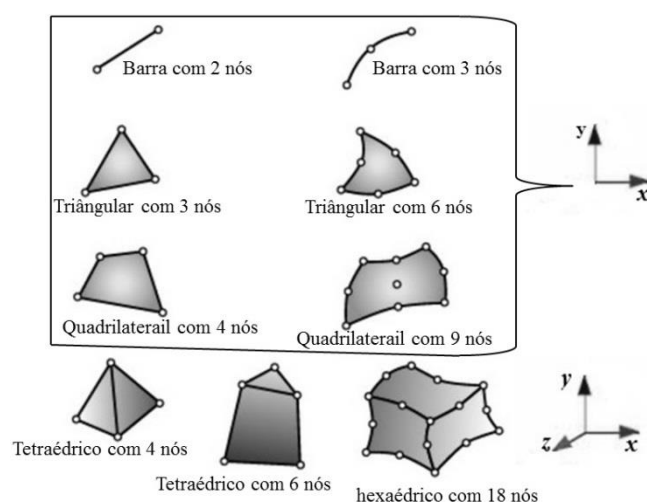


Figura 38: Diferentes formas geométricas de elemento finito.

Fonte: adaptado de Soriano (2009, 8)

Na simulação através de MEF, avaliou-se a passagem da propagação da onda pela parede abdominal (Meio 2) de acordo com a diversidade amostral demonstrada e medição da espessura das camadas do Meio 2. Observou-se na amostra que a diversidade da espessura tem origem em diversas fontes de características próprias de cada mulher. Desta forma, determinou-se a menor e maior espessura, bem como o valor médio identificado nas medições. Optou por estas espessuras para aplicá-las no MEF, uma vez que as menores espessuras seriam a pior situação desfavorável para a perda de transmissão sonora, as espessuras médias seriam para uma situação mediana e as espessuras maiores seriam para uma situação mais confortável para PTS.

4.4.1 Definição para MEF

As especificações dos elementos finitos foram definidas de acordo com os testes preliminares para verificar em qual malha os valores estabilizariam. E o *software* especifica o número de elementos finitos por comprimento de onda. Sendo assim calculou-se o comprimento de onda (λ) pela Equação 44 (Bistafa 2011, p. 20):

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Equação 44}$$

Onde: c : velocidade do meio, em m/s
 f : frequência, em Hz

A situação de simulação mais crítica está quando se tem a menor velocidade do som na maior frequência. Assim, tem-se para o Meio Ar a seguinte condição para aplicação da Equação 44: velocidade do meio de 345 m/s e frequência de 16 kHz. Com a aplicação na equação, obtém-se:

$$\lambda_{Meio\ Ar} = \frac{c}{f} = \frac{345\ m/s}{16.000\ Hz} = 0,0215625\ m$$

Pela indicação do *software Abaqus®*, para cada λ deve-se ter no mínimo seis elementos finitos⁴³. Com a Equação 45 determina-se o tamanho da aresta do elemento finito (TE).

⁴³As especificações do *software Abaqus®*, estão disponível em: <http://abaqus.software.polimi.it/v6.14/books/hhp/default.htm>

$$TE = \frac{\lambda_{Meio\ Ar}}{6} \quad \text{Equação 45}$$

Onde: TE: Tamanho da aresta do elemento finito, em m.
 $\lambda_{Meio\ Ar}$: comprimento onda do Meio Ar, em m.

Ao substituir o valor do comprimento de onda, tem-se:

$$TE = \frac{0,0215625}{6} = 0,00359375\ m$$

Portanto, para o λ do Meio Ar e na frequência de 16 kHz, encontra-se pela Equação 46 o número de elementos finitos. Tem-se:

$$NE = \frac{\lambda_{Meio\ Ar}}{TE} \quad \text{Equação 46}$$

$$NE = \frac{0,0215625}{0,0035} = 6,2$$

Conclui-se esta análise da malha para simulação com 6 elementos finitos por comprimento de onda. No entanto, para as aplicações das simulações em 2D e 3D optou-se pela malha de TE de 3 mm para Meio Ar e para os demais Meios a malha de TE de 8 mm. As simulações descritas para definir a malha estão apresentadas no Apêndice 4.

As especificações do *software Abaqus®*, indica que a forma geométrica para os elementos finitos mais adequada é a quadrática para aplicação em 2D. E aplicou-se a forma geométrica tetraédrica para a simulação em 3D.

Os dados solicitados na aplicação do software foram; densidades, velocidades do som, e dimensões para criação dos meios nas simulações.

4.4.2 Simulação MEF em 2D

As simulações através do MEF em 2D, foram realizadas para avaliar as situações do comportamento da propagação das ondas sonoras na parede abdominal, considerando com as divisões da parede abdominal e para a situação em que se considera o meio 2 sem as camadas.

4.4.2.1 Situação 1: Meio 2 sem divisão das camadas da parede abdominal

As simulações em MEF iniciaram-se pelas de 2D. Para tanto, estabeleceu-se o ambiente a ser simulado, de acordo com o apresentado na Figura 39, em um retângulo com altura de 10 cm, que correspondeu a uma das dimensões desta simulação. A outra dimensão foi a espessura da parede abdominal. Nesta situação, efetuou-se a simulação com três meios, sendo que cada um corresponde a um meio homogêneo. Porém, para esta fase das simulações, considerou-se o Meio 2 sem as divisões por camadas (pele, tecido adiposo, músculo abdominal reto, parede uterina e placenta), isto é, apenas com a espessura total da parede abdominal. Ainda para este meio, adotaram-se valores médios da velocidade do som e densidade. O ângulo de incidência foi de 90° sob a interface Ar e Parede abdominal.

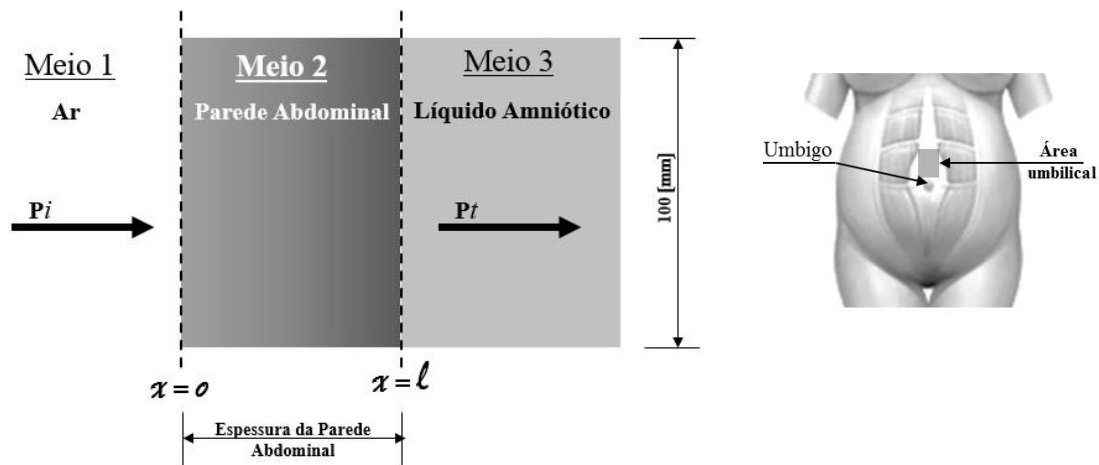


Figura 39: Transmissão da onda sonora pela parede abdominal, Meio 2 sem divisões, simulação por MEF

P_i : Pressão Sonora Incidente; em N.m^{-2}

P_t : Pressão Sonora Transmitida; em N.m^{-2}

Após a aplicação do MEF para os NPS de entrada para cada frequência e veículo nos respectivos pavimentos, obtém-se a pressão transmitida através da parede abdominal para cada situação em pela aplicação aos modelos em 2D, como descrita na Figura 39, calculou-se o coeficiente de transmissão através da Equação 47, resultante da Equação 28 (Gerges 2000).

$$\alpha_t = \frac{\rho_1 c_1}{\rho_3 c_3} \left| \frac{P_t}{P_i} \right|^2 \quad \text{Equação 47}$$

Onde:

α_t : Coeficiente de Transmissão acústica, adimensional,

$\rho_1 c_1$: Impedância no Meio 1,

$\rho_3 c_3$: Impedância no Meio 3,

P_i : Pressão Sonora Incidente; em N.m^{-2}

P_t : Pressão Sonora Transmitida; em N.m^{-2}

Sendo assim, através Equação 32, identificou-se a PTS para cada frequência para as diferentes veículo e pavimento. Estes cálculos variaram para a média das espessuras e para a menor e maior espessura.

4.4.2.2 Situação 2: Meio 2 com divisão das camadas da parede abdominal

Determinou-se a região a ser considerada para a aplicação do MEF uma parte da parede abdominal, correspondente a um retângulo com altura de 10 cm, na região umbilical, conforme apresentado na Figura 40.

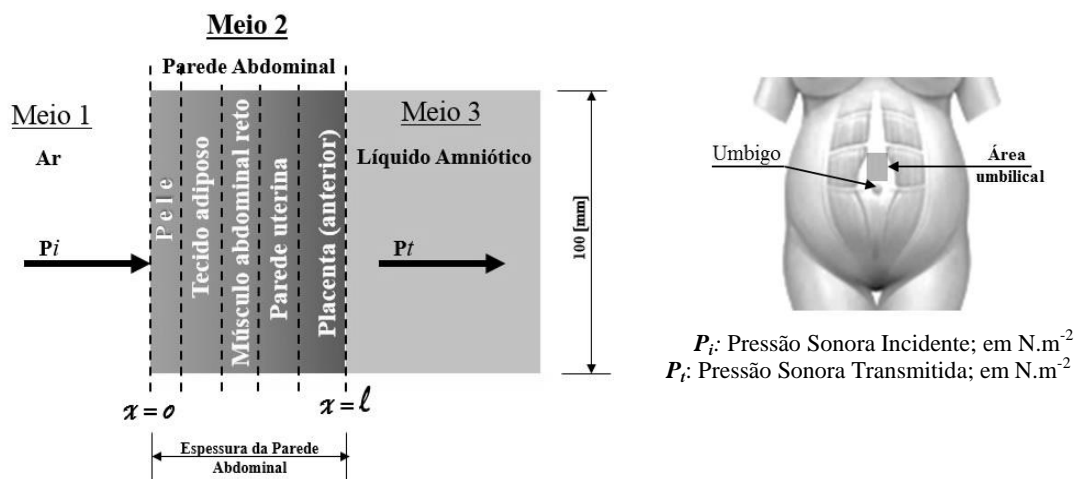


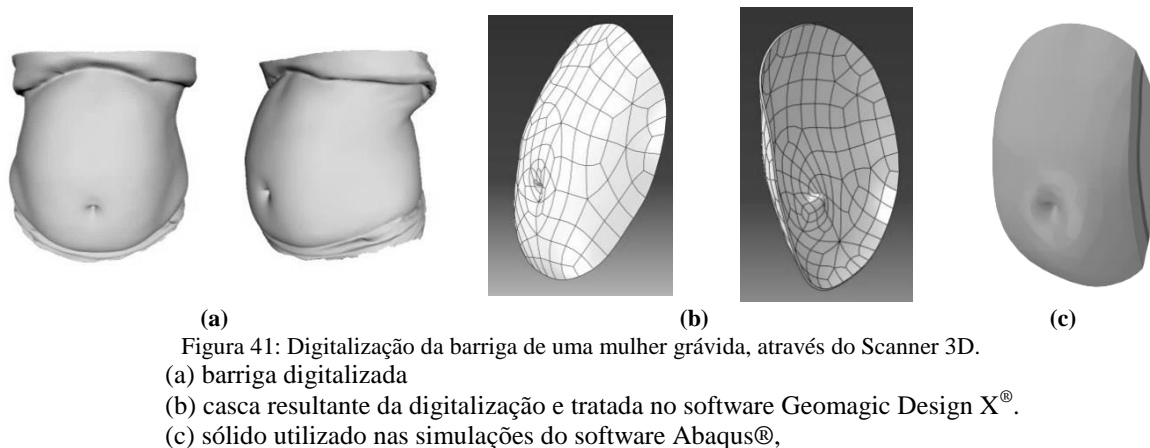
Figura 40: Transmissão da onda sonora pela parede abdominal 2D, simulação por MEF (todas camadas)

As espessuras das camadas da parede abdominal usadas foram a menor e a maior espessura e a média das medições de cada camada, gerada nas medições realizadas e descritas no item 4.4.2.1, bem como o cálculo da perda de transmissão sonora calculado na forma descrita no referido subcapítulo 4.4.2.1.

4.4.3 Simulação MEF em 3D

Para aplicação da simulação em 3D realizou-se a digitalização da superfície da barriga de uma mulher grávida com 20 semanas de idade gestacional, para melhor representar a biometria da barriga. A digitalização serviu para modular a casca, e assim poder refinar a modulação através da aplicação no *software Geomagic Design X*[®], e assim construírem-se as espessuras das camadas da parede abdominal. A Figura 41 ilustra as

imagens geradas a partir da digitalização realizada pelo Scanner 3D, modelo *Artec Eva*⁴⁴ da *Artec3D*[®], bem como a imagem trabalhada no *software Geomagic Design X*[®].



A aplicação da simulação em 3D seguiu as considerações das variáveis citadas na simulação em 2D. Porém, não foi utilizada a figura retangular de altura de 10 cm, mas sim, a imagem gerada a partir da digitalização em escala real.

As simulações decorreram da mesma forma aplicada para a de 2D. Foi considerado a espessura uniforme nas camadas.

A Figura 42 mostra a configuração estabelecida com a utilização do formado da barriga em escala real de uma mulher grávida.

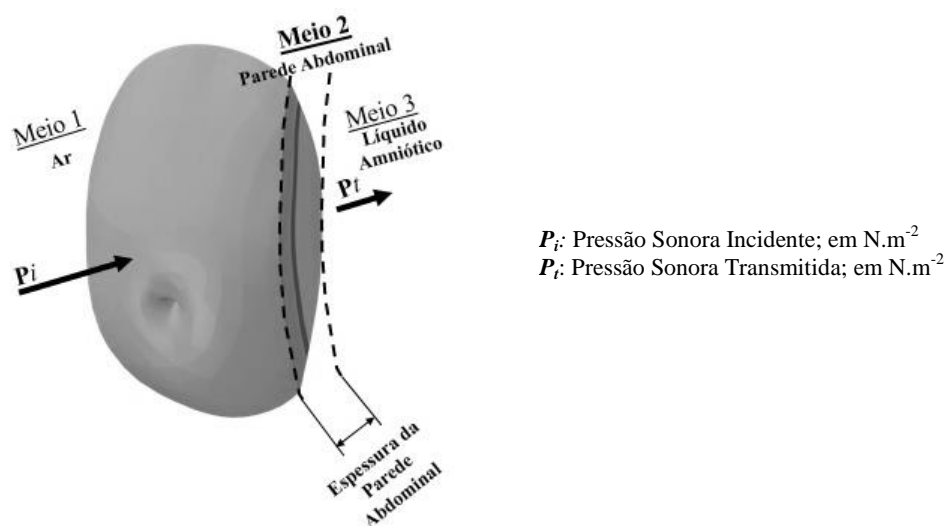


Figura 42: Transmissão da onda sonora pela parede abdominal 3D, Meio 2 com as camadas, simulação por MEF

⁴⁴ O equipamento *Artec Eva* efetua a digitalização em modelo 3D com rapidez, texturização e precisão de objetos de tamanho médio. Sua forma agilidade é traduzida pela varredura rápida sobre a superfície do objeto, com alta resolução e cores vibrantes, o que permite aplicações quase ilimitadas. Disponível em: < <http://www.artec3d.com/hardware/artec-eva>>. Acesso em: 15 dez. 2015.

As simulações em 3D foram realizadas para as espessuras maiores, média e menores das camadas, como mencionado nas simulações em 2D. Também foram realizadas as simulações para a situação com as camadas da parede abdominal e para a situação em que se considerou o meio 2 sem as camadas, como descrito nos subcapítulos 4.4.2.1 e 4.4.2.2.

Com os resultados obtidos de PTS, tanto no modelo analítico como nas simulações, foram analisados com a aplicação de ferramentas de estatística, que consistiu de uma parte descritiva, com o intuito de apresentar de forma resumida os dados coletados, e de uma parte inferencial, com o objetivo de identificar a existência de diferenças estatisticamente significativas nos dados dos experimentos de análise da PTS nos métodos desenvolvidos.

Na análise descritiva fez-se a determinação de estatísticas descritivas básicas: tamanho da amostra (n), média, desvio padrão da média, mínimo, primeiro quartil, mediana, terceiro quartil e máximo (Bussab e Moretin 2002).

Na análise inferencial (ANOVA) verifica-se a existência de diferenças estatisticamente significativas entre as médias dos dados coletados nos experimentos de análise da PTS e pela aplicação do teste de Tukey, que identifica a existência de grupos homogêneos de médias (Neter, Wasserman, e Kutner 1990).

A análise estatística foi desenvolvida com o *software* STATISTICA⁴⁵ (STATSOFT, 2001), com o suporte do *software* Microsoft Excel[®].

Com a configuração de análise demonstrada na Figura 43, percebe-se o número de informações analisadas de PTS.

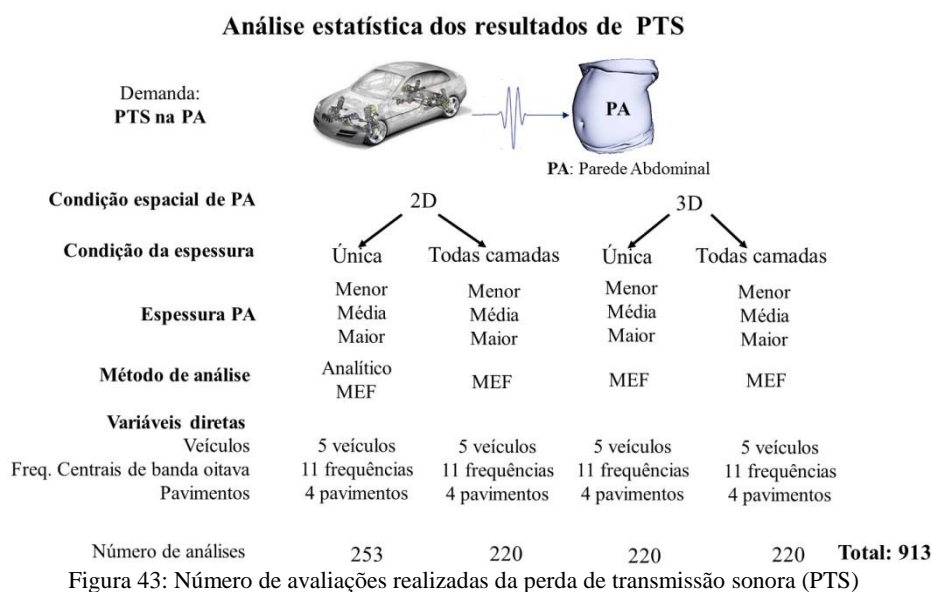


Figura 43: Número de avaliações realizadas da perda de transmissão sonora (PTS)

⁴⁵ STATSOFT. Inc. **STATISTICA (data analysis software system)**. Version 7. 2004. www.statsoft.com

5. RESULTADOS

Os resultados da pesquisa serão apresentados em concordância à ordem apresentada no capítulo anterior. Isto é, primeiro serão apresentados os resultados da avaliação de ruído interno no habitáculo de veículo automóvel (E1), na sequência os resultados da medição da espessura da parede abdominal de mulher grávida (E2), em seguida a análise por modelo analítico da perda de transmissão sonora através de três meios (E3), e por fim os resultados das simulações por MEF (E4).

5.1 Resultados da avaliação de ruído interno no habitáculo de veículo automóvel

Esta etapa da pesquisa teve como intuito avaliar o ruído interno no habitáculo do veículo automóvel. Sendo assim, para uma avaliação global da amostra, os resultados estão reunidos na Tabela 22 e apresentados os valores de nível de pressão sonora equivalente (Leq Global), bem como os valores correspondentes de tempo de percurso nos diferentes trajetos, para cada veículo.

Tabela 22: Resultados gerais das amostragens, por pavimento e a performance dos veículos

Veículos	Pavimento							
	Lajota		Paralelo		Asfalto		Sem pavimento	
	Leq Global [dB(A)]	Tempo percurso [s]	Leq Global [dB(A)]	Tempo percurso [s]	Leq Global [dB(A)]	Tempo percurso [s]	Leq Global [dB(A)]	Tempo percurso [s]
V1	74,9	84	78,3	28	69,3	104	77,1	40
V2	77,0	51	80,1	32	72,0	78	76,6	35
V3	75,3	52	79,4	24	68,7	100	78,6	29
V4	72,0	60	77,1	18	65,6	71	75,4	36
V5	75,0	53	78,7	19	67,5	48	77,0	35

Os valores medidos do ruído interno nos habitáculos dos veículos, durante os percursos estabelecidos para os pavimentos lajota, paralelo, asfalto e sem pavimentos, estão apresentados na Tabela 23, distribuídos para as frequências de oitava entre 16 Hz a 16 kHz. Na avaliação da perda de transmissão acústica na parede abdominal serão usados os registos obtidos na recolha de dados nos veículos em dB. Por este motivo estão apresentados em dB na Tabela 23.

Tabela 23: Leq [dB] de cada veículo em cada pavimento, por frequência central de banda de oitava.

Pavimento	Veículo	Frequência central da banda de oitava [Hz]										
		16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Lajota	V1	87,9	93,3	84,0	86,5	66,6	61,4	49,5	38,1	35,9	37,8	41,0
	V2	90,2	96,5	97,5	85,2	71,6	59,8	54,0	45,8	42,5	39,1	39,0
	V3	98,7	101,0	87,9	82,7	69,3	58,9	53,8	47,3	41,7	37,3	40,9
	V4	96,5	92,5	87,6	81,5	63,8	55,5	51,7	43,2	40,4	36,7	38,7
	V5	87,9	98,0	89,3	85,4	66,8	59,4	51,7	45,7	41,1	38,7	39,8
Paralelo	V1	96,6	101,5	100,4	87,5	74,2	64,1	58,1	51,6	48,8	43,3	40,5
	V2	96,6	101,5	100,4	87,5	74,2	64,1	58,1	51,6	48,8	43,3	40,5
	V3	100,2	103,6	91,1	86,1	73,0	63,0	59,3	54,2	49,5	41,9	41,1
	V4	96,7	95,7	90,4	88,3	68,4	62,1	55,5	47,2	42,6	37,7	39,3
	V5	90,0	102,9	92,2	89,2	69,5	62,4	54,1	46,1	42,3	41,6	44,1
Asfalto	V1	79,7	88,3	76,9	79,6	64,6	60,2	52,3	37,6	36,0	37,4	40,6
	V2	78,7	89,9	86,2	77,3	70,8	58,4	51,7	41,9	36,0	37,6	40,8
	V3	86,0	91,4	77,7	74,7	67,9	56,4	51,2	39,3	33,1	34,0	37,4
	V4	85,5	85,1	77,5	76,9	59,2	54,1	52,0	36,1	32,2	33,6	37,0
	V5	75,9	86,8	79,5	76,3	62,3	56,5	47,2	38,9	32,8	33,1	36,1
Sem pavimento	V1	90,4	98,9	97,2	85,3	71,3	60,2	55,0	48,4	45,5	41,3	39,7
	V2	79,7	88,3	76,9	79,6	64,6	60,2	52,3	37,6	36,0	37,4	40,6
	V3	98,7	102,3	91,9	85,0	70,9	60,9	58,4	54,1	50,5	43,7	51,1
	V4	85,5	85,1	77,5	76,9	59,2	54,1	52,0	36,1	32,2	33,6	37,0
	V5	87,4	103,2	90,5	87,4	68,3	59,4	53,2	48,4	44,9	40,6	39,9

No Apêndice 2, os valores estão distribuídos para as frequências de um terço de oitava.

5.2 Resultados: medições da espessura da parede abdominal

Pela diversidade de características que envolvem cada pessoa da amostra obtida durante as medições realizadas com as mulheres grávidas optou-se por registrar todas as que agendaram os exames ecográficos durante o período de abril a dezembro de 2015. Os dados podem ser visualizados no Apêndice 3.

Os dados apresentados na Tabela 24 mostram as variações de espessura para cada camada de parede abdominal, encontrada na amostra de 35 mulheres grávidas.

Tabela 24: Variação de espessura das camadas da parede abdominal de mulheres grávidas

Camadas	Intervalo de espessura [mm]						Espessuras adotadas [mm]		
	Supra umbilical			Infra umbilical			Menor	Média	Maior
Pele	1,3	a	5,1	1,1	a	3,6	1,1	2,3	5,1
Tecido Adiposo	4,9	a	27,3	5,2	a	33,5	4,9	14,5	33,5
Músculo Abdominal Reto	2,9	a	12,3	2,2	a	10,3	2,2	5,5	12,3
Parede Uterina	3,2	a	16,0	3,1	a	12,2	3,1	6,2	16,0
Placenta	13,0	a	32,2	11,1	a	43,0	----	22,0	43,0
Espessura da parede abdominal [mm]							11,3	50,5	109,9

Ressalta-se que na análise analítica para a menor espessura da parede abdominal não foi considerada a espessura da placenta, uma vez que a placenta pode se posicionar em

várias regiões do útero. No Apêndice 3 pode ser visualizado o posicionamento da placenta na amostra de mulheres grávidas.

5.3 PTS para a situação Ar/PA/LiqAmn, método analítico através de três meios (2D)

O método analítico, através de três meios é aplicado para a condição para o Meio 1 sendo o Ar; Meio 2 a Parede Abdominal (PA) e o Meio 3 o Líquido Amniótico (Ar/PA/LiqAmn), em 2D. A considerar a parede abdominal um meio único, para as espessuras (menor, média e maior) da PA.

Para a análise analítica e de MEF foi necessário a determinação do valor da velocidade do som no Meio 3, com a aplicação da Equação 42, onde se obteve o valor de:

$$c_3 = 1449 + 4,6t - 0,055t^2 + 0,0003t^3 + (1,39 - 0,012t)(S - 35) + 0,017d$$

Onde se considerou os valores para as varáveis:

c_3 : velocidade de propagação do som Meio 3, em [m/s]

t : 36°C

S : 109 mEq/L⁴⁶ = 3,8695 mg/L = 3,38695 ppm

d : distância em que a onda se propaga no Meio 3, em [m], considerando as espessuras da parede abdominal e distância média na variação da posição da orelha do feto.

A Tabela 25 mostra os resultados da determinação da velocidade do som no Meio 3.

Tabela 25: Velocidade do som no Meio 3 (líquido amniótico) para diferentes espessuras

Espessuras	Distância da pele até a orelha do feto [mm]	d	c_3
		[m]	[m/s]
Menor	1,0	0,0010	1.527,5
Média	40,8	0,0408	1.527,5
Maior	58,4	0,0584	1.527,5

Mesmo com a variação de “ d ” o valor de c_3 varia apenas após a terceira casa decimal. Portanto, considerou-se para os cálculos para a análise analítica o valor de velocidade do som no líquido amniótico de:

$$c_3 = 1.527,5 \text{ m/s}$$

⁴⁶ O valor de salinidade adotado foi estabelecido por Rebelo e Patrício (2013, p. 19). Para aplicação na fórmula precisou-se transformar a unidade [mEq/L] para [ppm]: onde: 1 mEq/L = 0,0355 mg/L; 1 ppm = 1 mg/L.

Com a aplicação da Equação 29 obteve-se os valores dos α_t para a variação de frequência de 16 Hz a 16 kHz e pela Equação 32 os valores de PTS , correspondentes aos valores de α_t . A Tabela 26 apresenta os resultados correspondentes às espessuras da parede abdominal (menor, média e maior).

Tabela 26: Perda de transmissão sonora (PTS), para Ar/PA/LiqAmn, menor espessura (analítico: 3 meios)

Frequência central de banda de oitava [Hz]	Menor espessura	Espessura média	Maior espessura
	PTS [dB]	PTS [dB]	PTS [dB]
16	29,7	29,7	29,7
31,5	29,7	29,7	29,7
63	29,7	29,7	29,7
125	29,7	29,7	29,7
250	29,7	29,7	29,7
500	29,7	29,7	29,7
1000	29,7	29,7	29,8
2000	29,7	29,8	30,1
4000	29,7	30,1	30,4
8000	29,8	30,4	29,8
16000	30,0	29,7	30,0

5.4 Aplicação da Lei da Massa

A aplicação da Lei da Massa no contexto da avaliação da perda de transmissão acústica na parede abdominal, teve o intuito de verificar o desempenho dos modelos analítico e elementos finitos, dentro das limitações condicionada a cada um.

Pela condição descrita no subcapítulo 5.3, segundo Gerges (2000), a aplicação da Lei da Massa apenas é realizada para a circunstância em que se cumpre a condição de:

$$\rho_1 c_1 = \rho_3 c_3 \ll \rho_2 c_2$$

A Equação 39 gerou os resultados da obtenção da PTS (em função da frequência de oitava), descritos na Tabela 27. Na mesma tabela apresenta-se os valores da diferença de PTS (\neq PTS) para cada duplicação da frequência de oitava, entre as diferentes espessuras da parede abdominal (menor, média e maior) para a condição Ar/PA/Ar.

Tabela 27: Perda de transmissão sonora (PTS), para os meios Ar/PA/Ar com aplicação da Lei da Massa

Frequência central de banda de oitava [Hz]	Menor espessura		Espessura média		Maior espessura	
	PTS [dB]	≠ PTS entre as frequências [dB]	PTS [dB]	≠ PTS entre as frequências [dB]	PTS [dB]	≠ PTS entre as frequências [dB]
16	3,2	---	16,2	---	23,0	----
31,5	9,1	5,9	22,1	5,9	28,9	5,9
63	15,1	6,0	28,1	6,0	34,9	6,0
125	21,1	6,0	34,1	6,0	40,8	5,9
250	27,1	6,0	40,1	6,0	46,8	6,0
500	33,1	6,0	46,1	6,0	52,9	6,1
1000	39,1	6,0	52,1	6,0	58,9	6,0
2000	45,1	6,0	58,2	6,1	64,9	6,0
4000	51,2	6,1	64,2	6,0	70,9	6,0
8000	57,2	6,0	70,2	6,0	76,9	6,0
16000	63,2	6,0	76,2	6,0	83,0	6,1

A sequência apresenta-se aplicação dos métodos analítico e de MEF com o intuito de comparar e verificar se há o comportamento semelhante nos resultados de PTS à aplicação da Lei da Massa.

5.4.1 PTS para situação Ar/PA/Ar, através do método três meios

Pelas Equação 29 obteve-se os valores dos α_t para a variação de frequência de 16 Hz a 16 kHz. Pela Equação 32 os valores de PTS , correspondentes aos valores de α_t , das espessuras de parede abdominal. A Tabela 28 apresenta os valores de PTS para a aplicação nos meios Ar/PA/Ar, correspondentes às espessuras da parede abdominal (menor, média e maior).

Tabela 28: Perda de transmissão sonora (PTS), para Ar/PA/Ar para as espessuras.

Frequência central de banda de oitava [Hz]	Menor espessura		Espessura média		Maior espessura	
	PTS [dB]	≠ PTS entre as frequências [dB]	PTS [dB]	≠ PTS entre as frequências [dB]	PTS [dB]	≠ PTS entre as frequências [dB]
16	4,9	---	16,3	---	23,0	---
31,5	9,6	4,7	22,1	5,8	28,8	5,8
63	15,2	5,6	28,1	6,0	34,8	6,0
125	21,1	5,9	34,0	5,9	40,8	6,0
250	27,1	6,0	40,1	6,1	46,8	6,0
500	33,1	6,0	46,1	6,0	52,8	6,0
1000	39,1	6,0	52,1	6,0	58,6	5,8
2000	45,1	6,0	57,9	5,8	63,7	5,1
4000	51,1	6,0	63,2	5,3	65,9	2,2
8000	57,0	5,9	66,1	2,9	56,7	-9,2
16000	62,4	5,4	42,3	-23,8	62,2	5,5

5.4.2 PTS para situação Ar/PA/Ar, simulações MEF em 2D

Pela Equação 28 obteve-se os valores de α_t nas espessuras da parede abdominal e pela Equação 32 obteve-se os valores da PTS para as frequências de oitava de 16 Hz a 16 kHz.

A Tabela 29 apresenta os valores de *PTS* para a aplicação nos meios Ar/PA/Ar, correspondentes às espessuras da parede abdominal (menor, média e maior), com aplicação de pressão incidente de 1 Pa. O meio 2 sem as camadas, meio único (ver Figura 39).

Tabela 29: Perda de transmissão sonora (PTS), para Ar/PA/Ar, simulação 2D, MEF ($P_i = 1[\text{Pa}]$).

Frequência central de banda de oitava [Hz]	Menor espessura		Espessura média		Maior espessura	
	PT [dB]	≠ PT entre as frequências [dB]	PT [dB]	≠ PT entre as frequências [dB]	PT [dB]	≠ PT entre as frequências [dB]
16	3,7	---	16,2	---	22,9	---
31,5	9,5	5,8	22,3	6,1	29,1	6,2
63	15,1	5,6	28,1	5,8	34,8	5,7
125	21,0	5,9	34,0	5,9	40,8	6,0
250	27,1	6,1	40,1	6,1	46,8	6,0
500	33,1	6,0	46,1	6,0	52,8	6,0
1000	39,1	6,0	52,0	5,9	58,6	5,8
2000	45,1	6,0	57,9	5,9	63,7	5,1
4000	51,1	6,0	63,2	5,3	65,9	2,2
8000	56,9	5,8	66,0	2,8	52,3	-13,6
16000	62,0	5,1	37,6	-28,4	63,3	11,0

5.5 PTS: método de elementos finitos (MEF)

As simulações aplicadas através do método de elementos finitos (MEF), correspondem à condição para o Meio 1 sendo o Ar; Meio 2 a Parede Abdominal (PA) e o Meio 3 o Líquido Amniótico (Ar/PA/LiqAmn). A considerar a parede abdominal um meio único, para as espessuras (menor, média e Maior) da PA. Sendo que para a espessura nas simulações foram considerados duas situações para meio 2 (PA)⁴⁷: único e com todas as camadas. As aplicações foram para as condições espaciais 2D e 3D.

5.5.1 PTS, através de simulações MEF meio 2: único (2D)

Pela Equação 28 obteve-se os valores de α_t nas espessuras da parede abdominal e pela Equação 39 obteve-se os valores da PTS para as frequências de oitava de 16 Hz a 16 kHz.

⁴⁷ Meio 2: **único**, sem considerar as separações das camadas que compõem a parede abdominal (pele, tecido adiposo, músculo abdominal reto, parede uterina e placenta).

Meio 2: **todas as camadas**, considerou-se as separações das camadas que compõem a parede abdominal.

A Tabela 30 apresenta os valores de *PTS* para a aplicação nos meios Ar/PA/LiqAmn, correspondentes às espessuras da parede abdominal (menor, média e maior), com aplicação de pressão incidente correspondentes as obtidas nos veículos automóveis, por pavimento e frequência de oitava. Considerado o meio 2 sem as camadas, meio único (ver Figura 39).

Tabela 30: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D, meio 2: único, por pavimento/veículo/espessura PA

Pavto	Freq [Hz]	Menor espessura					Espessura média					Maior espessura				
		PTS [dB]					PTS [dB]					PTS [dB]				
		V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
Lajota	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
	4000	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
	8000	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
Paralelo	16000	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
	4000	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
	8000	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
Asfalto	16000	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
	4000	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
Sem pavimento	8000	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
	16000	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	31,5	31,5	31,5	31,5	31,5
	4000	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
	8000	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9	34,8	34,8	34,8	34,8	34,8
	16000	27,6	27,6	27,6	27,6	27,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,4	31,4	31,4	31,4	31,4

5.5.2 PTS, através de simulações MEF meio 2: todas as camadas (2D)

Pela Equação 28 obteve-se os valores de α_t nas espessuras da parede abdominal e pela Equação 39 obteve-se os valores da PTS para as frequências de oitava de 16 Hz a 16 kHz.

A Tabela 31 apresenta os valores de PTS para a aplicação nos meios Ar/PA/LiqAmn, correspondentes às espessuras da parede abdominal (menor, média e maior), com aplicação de pressão incidente correspondentes as obtidas nos veículos automóveis, por pavimento e frequência de oitava. Considerado o meio 2 sem as camadas, meio único (ver Figura 40)

Tabela 31: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D, meio 2: todas as camadas, pavimento/veículo/espessura PA

Pavto	Freq [Hz]	Menor espessura					Espessura média					Maior espessura				
		PTS [dB]					PTS [dB]					PTS [dB]				
		V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
Lajota	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9
	4000	29,5	29,5	29,5	26,7	29,5	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
	8000	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8
Paralelo	16000	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9
	4000	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
Asfalto	8000	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8
	16000	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9
Sem pavimento	4000	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
	8000	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8
	16000	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2
	2000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	27,9	27,9	27,9	27,9	27,9
	4000	29,5	29,5	29,5	29,5	29,5	27,4	27,4	27,4	27,4	27,4	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
	8000	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0	31,8	31,8	31,8	31,8	31,8
	16000	27,5	27,5	27,5	27,5	27,5	29,2	29,2	29,2	29,2	29,2	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3

5.5.3 PTS, através de simulações MEF meio 2: único (3D)

A aplicação da simulação para a situação do meio 2 considerado como um meio único, sem as camadas para a situação Ar/PA/LiqAmn, em 3D.

Igualmente aos demais, os resultados de PTS foram obtidos da aplicação do MEF, com a utilização dos níveis de pressão sonora recolhidos nos veículos (ver Tabela 23). Assim, na Tabela 32 estão reunidos os resultados de PTS das simulações em 3D, correspondentes à variação do NPS para cada veículo, frequência, pavimentos e espessura (meio 2: único) da parede abdominal (menor, média e maior).

Tabela 32: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D, meio 2: único, por pavimento/veículo (Pi = veículo [Pa])

Pavto	Freq [Hz]	Menor espessura					Espessura média					Maior espessura				
		PTS [dB]					PTS [dB]					PTS [dB]				
		V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
Lajota	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8
	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,9	31,9	31,9	31,9	31,9
	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
Paralelo	16000	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8
	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,9	31,9	31,9	31,9	31,9
Asfalto	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
	16000	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8
Sem pavimento	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,9	31,9	31,9	31,9	31,9
	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
	16000	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,9	29,9	29,9	29,9	29,9	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8
	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	31,9	31,9	31,9	31,9	31,9
	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	29,0	29,0	29,0	29,0	29,0	27,2	27,2	27,2	27,2	27,2
	16000	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	28,8	28,8	28,8	28,8	28,8	26,3	26,3	26,3	26,3	26,3

5.5.4 PTS, através de simulações MEF meio 2: todas as camadas (3D)

A aplicação da simulação para a situação do meio 2 considerado como um meio único, com todas as camadas para a situação Ar/PA/LiqAmn, em 3D.

Igualmente aos demais, os resultados de PTS foram obtidos da aplicação do MEF, com a utilização dos níveis de pressão sonora recolhidos nos veículos (ver Tabela 23). Assim, na Tabela 33 estão reunidos os resultados de PTS das simulações em 3D, correspondentes à variação do NPS para cada veículo, frequência, pavimentos e espessura (meio 2: todas as camadas) da parede abdominal (menor, média e maior).

Tabela 33: PTS para Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D, meio 2: todas as camadas, por pavimento/veículo (P_i =veículo[Pa])

Pavto	Freq [Hz]	Menor espessura					Espessura média					Maior espessura				
		PTS [dB]					PTS [dB]					PTS [dB]				
		V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
Lajota	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,6	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7
	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
Paralelo	16000	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	41,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	9,7	29,7	29,7
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7
	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
Asfalto	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
	16000	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	27,4	29,7
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	22,8	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7
Sem pavimento	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
	16000	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0
	16	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	31,5	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	63	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	125	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	250	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	500	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7
	1000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0
	2000	29,7	29,7	29,7	29,7	29,7	29,8	29,8	29,8	29,8	29,8	30,7	30,7	30,7	30,7	30,7
	4000	29,6	29,6	29,6	29,6	29,6	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	31,6	31,6	31,6	31,6	31,6
	8000	29,3	29,3	29,3	29,3	29,3	28,7	28,7	28,7	28,7	28,7	25,9	25,9	25,9	25,9	25,9
	16000	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	27,7	27,7	27,7	27,7	27,7	27,0	27,0	27,0	27,0	27,0

O Capítulo 5 apresentou os resultados obtidos nos quatros objetivos específicos propostos para atingir o objetivo de tese, as quais foram: o ruído no interior do habitáculo de veículo automóvel, espessura da parede abdominal em mulheres grávidas, análise da perda de transmissão sonora na parede abdominal, pelo método analítico, através de três meios e pelo MEF. As aplicações do MEF foram realizadas simulações em 2D e 3D.

6. INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

No presente capítulo está reunida a interpretação dos resultados apresentados no capítulo anterior, seguida a sequência lá descrita.

6.1 Interpretação dos resultados da Etapa 1: ruído interno no habitáculo de veículo automóvel

A interpretação dos resultados, referentes à avaliação do nível de pressão sonora no interior do habitáculo de veículo automóvel, será apresentada em duas fases. Primeiramente, apresenta-se a análise comparativa dos resultados entre os veículos e pavimentos. Em seguida, apresenta-se a análise estatística dos resultados de Leq nos veículos.

6.1.1 Análise comparativa dos resultados da medição

Os resultados apresentados na Tabela 22, no Capítulo 5, são valores que expressam o nível global de pressão sonora equivalente (Leq Global) e os valores correspondentes de tempo de percurso para cada tomada nos diferentes trajetos e veículos. Nesta análise geral, percebe-se, pela Figura 44, que os veículos se mostram com os registos mais elevados de Leq no pavimento paralelo e também no sem pavimento, entre os quatro pavimentos submetidos aos veículos.

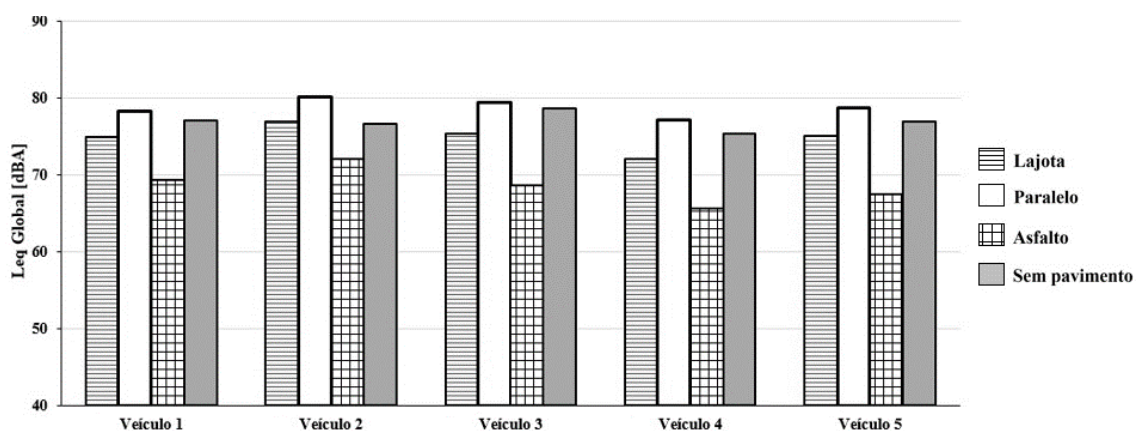
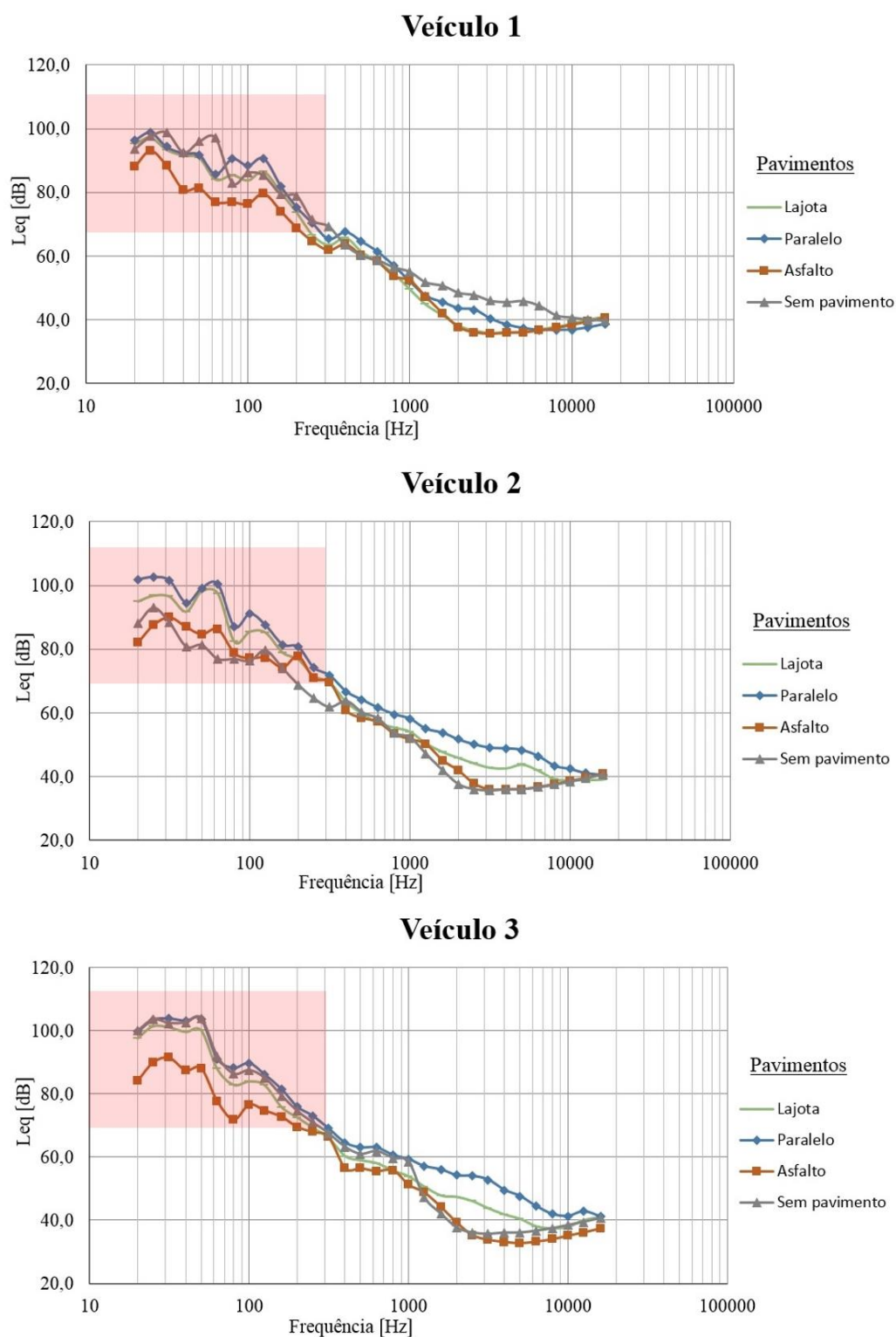


Figura 44: Nível global de pressão sonora equivalente (Leq Global) dos veículos em comparação ao pavimento.

O comportamento individual por veículo está detalhado na Tabela 23, no capítulo 5. Os mesmos valores estão representados graficamente na Figura 45 e Figura 46, com a comparação entre pavimentos.



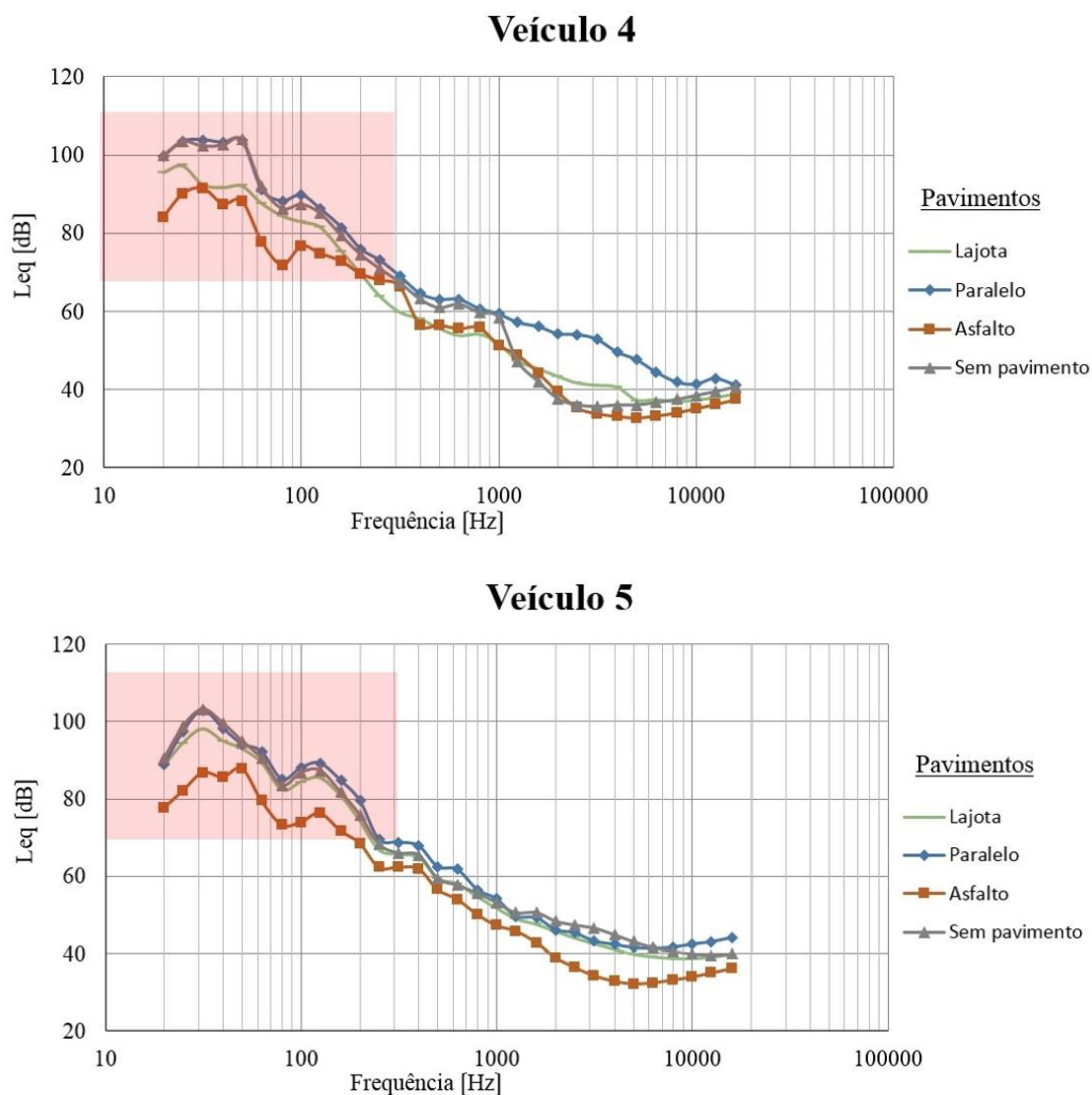


Figura 46: Nível de pressão sonora equivalente (Leq), dB, para frequência na faixa de 20 Hz a 16 kHz, dos veículos V4 e V5 nos diferentes pavimentos.

Na comparação entre os pavimentos, constata-se registros de valores de nível de pressão sonora para os veículos V1, V2 e V5 que estão acima de 75 dB e encontram-se na faixa de frequência de 20 e 200 Hz. No V3 os valores de Leq acima de 75 dB, encontram-se entre as frequências 20 e 160 Hz e o V4 estão entre 20 e 125 Hz.

6.1.2 Análise estatística dos resultados da medição

A análise estatística dos dados obtidos referentes ao ruído interno no habitáculo dos veículos automóveis estão apresentados na Tabela 34, primeiramente uma análise descritiva dos dados.

Tabela 34: Análise descritiva dos Leq registados nos habitáculos dos veículos automóveis

		Estatísticas descritivas Leq [dB]							
Tratamentos	Níveis	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Veículo	Geral	660	63,61	21,39	32,10	43,05	59,65	83,80	103,90
	Veículo 1	132	64,37	21,33	35,60	43,35	61,50	84,65	102,60
	Veículo 2	132	63,61	20,80	35,60	42,75	60,45	81,05	102,60
	Veículo 3	132	66,01	21,95	32,70	47,65	60,75	86,05	103,90
	Veículo 4	132	60,67	21,64	32,20	40,20	56,40	82,00	100,80
Pavimento	Veículo 5	132	63,37	21,18	32,10	43,05	60,55	84,85	103,20
	Lajota	165	63,87	22,00	35,80	42,40	58,90	85,40	101,40
	Paralelo	165	68,21	21,90	37,70	48,30	63,00	89,70	103,80
	Asfalto	165	58,63	19,67	32,10	38,40	56,50	77,10	93,00
]Frequência de banda de 1/3 de oitava [Hz]	Sem pavimento	165	63,72	21,01	32,20	45,80	59,40	82,50	103,90
	12.5	20	89,28	7,04	76,30	84,55	89,85	94,10	100,80
	16	20	89,44	7,38	75,90	85,50	88,95	96,60	100,20
	20	20	91,75	7,10	77,70	86,20	92,05	97,95	101,90
	25	20	96,13	5,71	82,20	92,40	97,20	100,95	103,50
	31.5	20	95,30	6,52	85,10	89,10	96,10	101,50	103,80
	40	20	91,55	7,37	80,10	86,30	92,20	96,55	103,10
	50	20	92,49	7,34	81,30	86,25	93,55	98,65	103,90
	63	20	87,63	7,95	76,90	78,60	88,60	92,05	100,40
	80	20	81,48	5,36	71,80	76,90	82,90	85,85	88,20
	100	20	82,75	6,20	72,90	76,45	84,10	87,70	91,10
	125	20	82,95	4,67	74,70	78,45	85,10	86,95	89,20
	160	20	77,18	4,55	68,80	74,00	79,10	81,05	84,70
	200	20	73,46	5,08	64,10	69,15	74,40	77,30	80,70
	250	20	67,83	4,46	59,20	64,60	68,35	71,10	74,20
	315	20	65,39	4,49	56,70	62,05	66,00	69,15	71,70
	400	20	62,60	3,53	56,40	60,45	63,35	65,20	67,80
	500	20	59,56	3,00	54,10	57,45	60,00	61,75	64,10
	630	20	57,94	3,30	51,90	56,15	58,10	61,40	63,00
	800	20	55,46	2,96	50,00	53,60	55,45	57,50	60,60
	1000	20	53,56	3,12	47,20	51,70	52,75	55,25	59,30
	1250	20	50,15	3,52	44,80	47,25	49,90	51,60	57,10
	1600	20	47,30	5,06	40,60	42,35	47,55	50,60	56,00
	2000	20	44,46	5,99	36,10	38,50	45,75	48,40	54,20
	2500	20	42,73	6,60	33,60	36,20	44,05	47,55	54,00
	3150	20	41,48	6,67	32,40	35,60	42,60	46,25	52,80
	4000	20	40,64	6,11	32,20	35,95	41,40	45,20	50,50
	5000	20	39,85	5,71	32,10	36,00	39,90	44,75	48,30
	6300	20	39,20	4,64	32,40	36,60	38,55	43,05	46,40
	8000	20	38,49	3,35	33,10	37,00	37,75	41,45	43,70
	10000	20	38,79	2,81	33,90	37,45	38,65	40,95	43,90
	12500	20	39,55	3,12	34,90	38,05	39,45	40,50	49,00
	16000	20	40,26	3,14	36,10	38,85	40,20	40,85	51,10
	20000	20	42,49	1,91	39,40	41,80	42,40	42,85	48,00

Na Tabela 35 apresenta-se a análise inferencial, por variância (ANOVA). Nesta análise, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), percebe-se que há diferença estatisticamente significativa entre os níveis dos tratamentos Pavimento, Veículo e Frequência ($p < 0,05$).

Tabela 35: Análise inferencial (ANOVA) dos dados ruído nos habitáculos dos veículos automóveis

Fatores	SS	gl	MS	F	p	
Pavimento	7597,45	3	2532,48	197	0,0000	$p < 0,05$
Veículo	1986,57	4	496,64	39	0,0000	$p < 0,05$
Frequência de banda de 1/3 oitava	283919,14	32	8872,47	691	0,0000	$p < 0,05$
Erro	7958,21	620	12,84			

Obs.: **SS**: Soma dos quadrados, **gl**: graus de liberdade, **MS**: quadrados médios, **F**: frequência estatística, **p**: probabilidade

A aplicação do teste de Tukey com o intuito de identificar os grupos homogêneos e com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%). Na Tabela 36 apresenta dos dados referente ao tratamento Veículo, conclui-se que há diferença estatisticamente significativa entre as médias estatísticas das medições de Leq do Veículo 4 com os demais grupos. A média estatística das medições de Leq do Veículo 3 aponta o maior valor médio e é estatisticamente diferente da média estatística das medições de Leq. Na avaliação por agrupamentos, os Veículos 1, 2 e 5 formam um grupo e os Veículos 4, 3 formam outros dois grupos.

Tabela 36: Teste de Tukey para os dados de ruído nos habitáculos dos veículos automóveis, tratamento Veículo

Tratamentos	Média (Leq [dB])	Grupo
Veículo 4	60,67	a
Veículo 5	63,37	b
Veículo 2	63,61	b
Veículo 1	64,37	b
Veículo 3	66,01	c

Para o tratamento Pavimento, a Tabela 37 apresenta os resultados do teste de Tukey, que identificou os grupos homogêneos, para o nível de significância de 0,05 (5%), conclui que há diferença estatisticamente significativa entre o NPS médio do Asfalto com o grupo Sem pavimento e Lajota. O valor médio de Leq do Paralelo é diferente estatisticamente dos demais e possui o maior valor médio.

Tabela 37: Teste de Tukey para os dados ruído de nos habitáculos dos veículos automóveis, tratamento Pavimento

Tratamento	Média (Leq [dB])	Grupo
Asfalto	58,63	a
Sem pavimento	63,72	b
Lajota	63,87	b
Paralelo	68,21	c

Na Tabela 38 estão reunidos os grupos homogêneos referentes ao tratamento Frequência, considerou o nível de significância de 0,05 (5%), e conclui-se que há diferença estatisticamente significativa entre os valores médios de Leq para o tratamento Frequência de banda de 1/3 de oitava. Os grupos homogêneos de frequência estão identificados pelas letras de "a" a "q". Percebe-se que as altas frequências⁴⁸, acima de 2000 Hz formam dois grupos homogêneos (a e b). As frequências entre 160 Hz e 1600 Hz formam vários grupos, conforme tabela apresentada, sendo que a frequência de 160 Hz é o limiar para os valores médios abaixo de 80 dB. As baixas frequências entre 16 e 125 Hz apresentaram vários grupos homogêneos diferente estatisticamente das demais frequências e apresentaram valores médios acima de 80 dB.

Tabela 38: Teste de Tukey para os dados de ruído nos habitáculos dos veículos automóveis, tratamento Frequência

Tratamento	Valor médio [dB]	Grupo
8000	38,49	a
10000	38,79	a
6300	39,20	a
12500	39,55	a
5000	39,85	a
16000	40,26	a b
4000	40,64	a b
3150	41,48	a b
20000	42,49	a b
2500	42,73	a b
2000	44,46	b c
1600	47,30	c d
1250	50,15	d e
1000	53,56	e f
800	55,46	f g
630	57,94	g h
500	59,56	h i
400	62,60	i j
315	65,39	j k
250	67,83	k l
200	73,46	l m
160	77,18	m n
80	81,48	n o
100	82,75	o p
125	82,95	p q
63	87,63	q
12,5	89,28	
16	89,44	
40	91,55	
20	91,75	
50	92,49	
31,5	95,30	

⁴⁸ Frequência de banda de um terço de oitava

A Figura 47 apresenta a distribuição dos valores de Leq [dB] medidos nos veículos equivalentes ao intervalo de frequência de bandas de 1/3 de oitava, 12,5 Hz a 20 kHz. A distribuição gráfica mostra o intervalo de baixas frequências de 12,5 a 200 Hz correspondeu aos valores si de Leq acima de 80 dB.

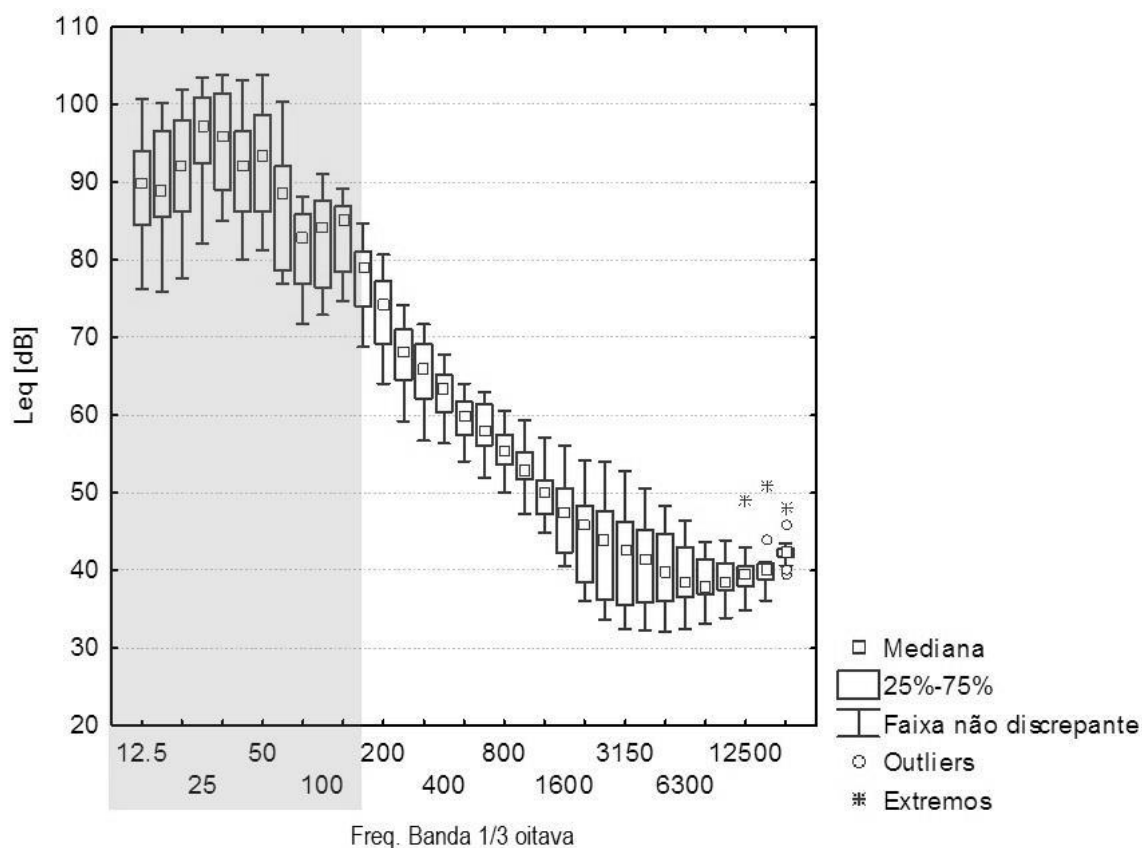


Figura 47: Distribuição dos valores de Leq [dB] medidos nos veículos

As variações de faixas de frequência entres os veículos estão relacionadas com os tipos de materiais utilizados nas estruturas definidas nos projetos construtivos dos fabricantes. Uma vez que os modelos atendem às exigências mercadológicas e de aporte de capital dos consumidores, bem como a normatização vigente (Onusic 2001).

Um outro elemento importante que deve ser apontado na variação de valores de Leq entre os veículos é a interação do pneu e pavimento. Os diversos tipos de pneus disponíveis do mercado, assim a escolha do pneu contribui no incremento ou não da transmissão do ruído para o interior da cabine veicular, associado ao tipo de pavimento, veículo e velocidade (Kim, Kim, e Lee 2007).

A medição do ruído internos nos veículos identificados na Etapa 1 desta pesquisa, reúne os Leq , respectivos de cada veículo, gerados nos percursos dos pavimentos, por

frequências de banda de um terço de oitava. Porém, nas Etapas 3 e 4 deste estudo foram aplicados os valores Leq correspondentes ao intervalo de frequência central de banda de oitava de 16 Hz a 16 kHz, para avaliar o comportamento destas pressões acústicas sobre a parede abdominal, mesmo com a indicação de que nas baixas frequências ocorreram os valores acima de 80 dB.

Um paralelo a esta pesquisa pode ser feito, com um comparativo ao estudo realizado por Kindt (2009). A Figura 48 ilustra os dados de Kindt, a qual pode ser observado que o autor também registou nas baixas frequências os valores mais elevados de NPS (oriundo do ruído interno no habitáculo do veículo automóvel). A referida figura traz contribuições comparativas aos resultados da presente tese, por apresentar informações de fontes sonoras e compara ao ruído interno do veículo. Os dados de NPS foram analisados em função da frequência, a uma velocidade de 70 km/h, num pavimento de asfalto. O referido estudo registou aproximadamente 63 dB(A), na frequência de 250 Hz, no interior do veículo, para o pavimento asfalto.

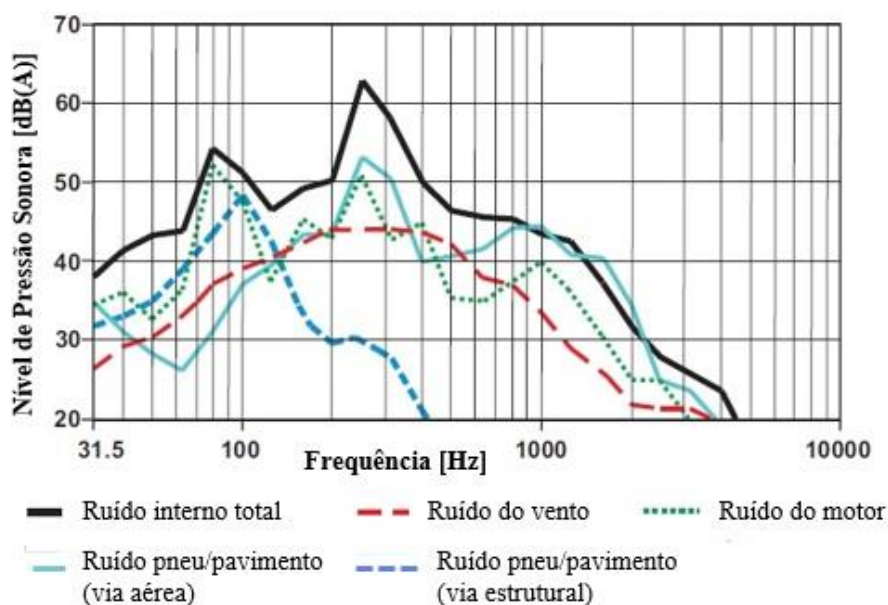


Figura 48: Medição do ruído interno no habitáculo de um veículo a velocidade de 70 km/h e pavimento de asfalto.
Fonte: (Riegel 2008 citado em Kindt et al. 2009, 19)

6.2 Interpretação dos resultados: espessuras da parede abdominal

A diversidade das características físicas das mulheres grávidas, que participaram das medições, refletiu nos resultados apresentados do Apêndice 3. Dada a diversidade dos dados, optou-se pela adoção da situação média, elegendo-se a espessura média de cada camada para integrar a espessura média da parede abdominal. O mesmo foi realizado para

a situação mais desfavorável que seria a menor espessura de parede abdominal, elegendo-se as menores espessuras de cada camada para compor a menor espessura da parede abdominal. Este procedimento também foi realizado para a situação mais favorável ao feto, a maior espessura de parede abdominal, considerando-se as maiores espessuras de cada camada registada na amostra.

Uma ressalva com relação a menor espessura de parede abdominal, é que não foi considerada a espessura da placenta. Não é regra anatômica da barriga de uma mulher grávida que a placenta se localiza na parte anterior do útero, podendo localizar-se também na parte posterior, lateral do útero ou no fundo (Perrotti et al. 1999). Portanto, para considerar a pior situação, na composição da menor espessura, não foi levado em conta qualquer espessura de placenta.

As definições de espessura seguiram a definição de que a menor espessura da PA está representada pela soma dos valores mínimos de todas camadas, a espessura média está representada pela soma dos valores médios de todas camadas, e maior espessura está representada pela soma dos valores máximos de todas camadas. Portanto, as espessuras da parede abdominal, aplicadas no modelo analítico e nas simulações através de MEF, estão descritas na Tabela 39, que resultou na composição apresentada Tabela 24, do capítulo 5.

Tabela 39: Espessura da parede abdominal (PA) de mulheres grávidas adotadas.

Camadas	Espessuras adotadas					
	Menor		Média		Maior	
	[mm]	[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]
Pele	1,1	0,0011	2,3	0,0023	5,1	0,0051
Tecido Adiposo	4,9	0,0049	14,5	0,0145	33,5	0,0335
Músculo Abdominal Reto	2,2	0,0022	5,5	0,0055	12,3	0,0123
Parede Uterina	3,1	0,0031	6,2	0,0062	16,0	0,0160
Placenta	----	----	22,0	0,0220	43,0	0,0430
Espessura da PA (Σ)	11,3	0,0113	50,5	0,0505	109,9	0,1099

6.3 Lei da Massa

A Tabela 27 apresenta os resultados da obtenção dos valores de PTS obtidos pelo método analítico da Lei da Massa para a condição dos Ar/PA/Ar. O atendimento ao princípio da Lei da Massa, auxiliou na verificação dos resultados obtidos na aplicação do método analítico, através de três meios e na simulação, através de MEF.

Os resultados configuram a diferença de perda de transmissão sonora (\neq PTS) de 6 dB, como prediz o princípio da Lei da Massa (Gerges 2000). A ocorrência de incremento

de 6 dB na PTS a cada duplicação da frequência, indica que não houve geração de pressão de flexão, originária da passagem da pressão sonora incidente (Temkin 2001).

Por método analítico, foram calculadas as frequências críticas para a menor, média e maior espessuras aplicadas nos modelos, obtidas pela aplicação da Equação 40, conforme apresentada na Tabela 40, onde:

- f_c : frequência crítica, em Hz;
 c : velocidade do som no ar, 345 m.s^{-1} ;
 c_L : velocidade da onda longitudinal no meio 2 (parede abdominal); c_L : 1.584 m.s^{-1}
 h : espessura da parede abdominal (menor, média e maior)

Tabela 40: Frequências críticas correspondentes às espessuras (menor, média e maior)

Espessuras	Frequência Crítica [Hz]
Menor ($h = 0.0113 \text{ m}$)	3.694
Média ($h = 0,0505 \text{ m}$)	827
Maior ($h = 0,1099 \text{ m}$)	380

A Figura 49 ilustra o posicionamento das frequências críticas correspondentes às espessuras maior, média e menor, consideradas no cálculo analítico.

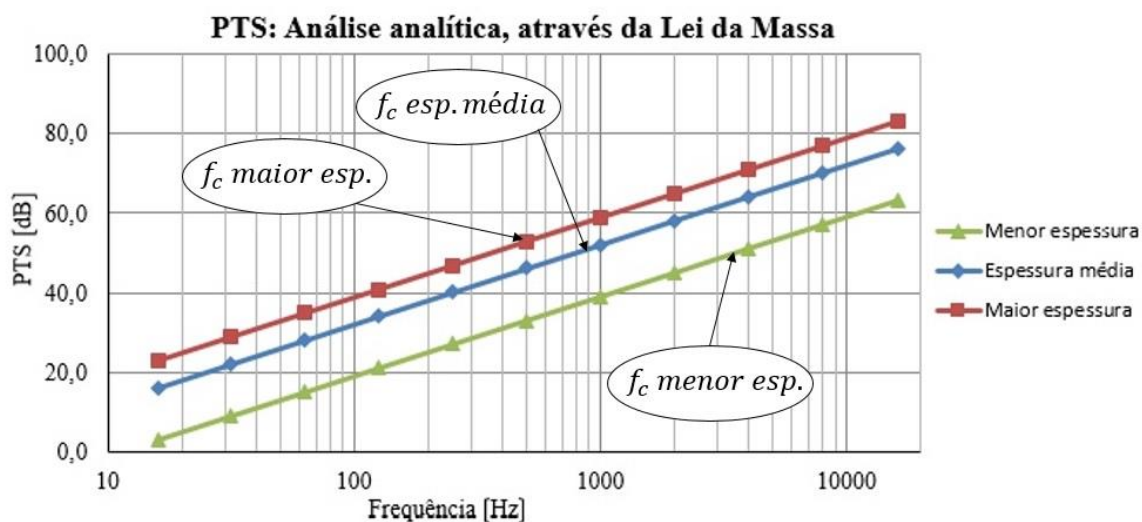


Figura 49: PTS e frequências críticas por espessura, para os meios Ar/PA/Ar pela aplicação da Lei da Massa

A conclusão a que se chega com a aplicação do método analítico da Lei da Massa para a condição dos Ar/Pa/Ar é que se obteve uma boa resposta à aplicação analítica para o meio 2 (parede abdominal), isto é, mostra que a transmissão do som através de três meios

terá influência da densidade de área do meio 2 e da frequência da pressão de incidência, quando aplicado aos meios 1 e 3 e quando estes forem ar (Gerges 2000).

6.3.1 PTS para a situação Ar/PA/Ar, através modelo analítico três meios (2D)

Pelos dados apresentados na Tabela 28, correspondentes à situação Ar/PA/Ar, percebe-se que há uma descontinuidade da sequência de diferença da PTS (\neq PTS) entre as duplicações da frequência de banda de oitava acima de 2 kHz para a maior espessura, acima de 4 kHz para a espessura média e acima de 8 kHz para a menor espessura (ver Tabela 41).

A Figura 50 representa os resultados apontados pela Tabela 26, associadas a PTS dos meios Ar/PA/Ar. No entanto, a descontinuidade apontada acima, estão associada a condição de validade do modelo ($k_2 \ell \ll 1$) (Gerges 2000).

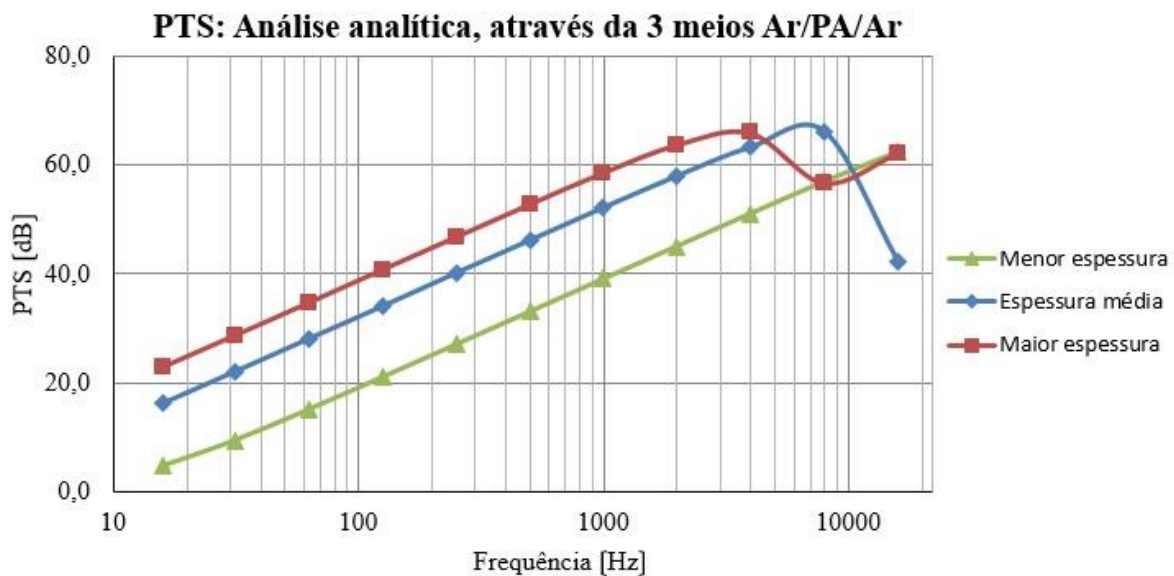


Figura 50: PTS: análise analítica, através de três meios, para Ar/PA/Ar

A Tabela 41 apresenta os resultados do cálculo para condição de contorno ($k_2 \ell \ll 1$). Neste caso a condição não é mais válida na menor espessura, quando extrapolado para a condição de 16 kHz. Na espessura média, a validade do método está até à frequência de 2 kHz e na maior espessura a validade vai até a frequência de 1 kHz.

Tabela 41: Cálculo do $k_2\ell$, por frequência banda de oitava (16 Hz a 16 kHz), correspondentes à espessura

Frequência [Hz]	k_2	$k_2\ell$		
		Menor espessura $\ell = 0,0113\text{ m}$	Espessura média $\ell = 0,0505\text{ m}$	Maior espessura $\ell = 0,1099\text{ m}$
16	0,063	0,0007	0,0032	0,0070
31,5	0,125	0,0014	0,0063	0,0137
63	0,250	0,0028	0,0126	0,0275
125	0,496	0,0056	0,0251	0,0545
250	0,992	0,0112	0,0501	0,1090
500	1,983	0,0224	0,1002	0,2180
1000	3,967	0,0448	0,2004	0,4359
2000	7,933	0,0896	0,4008	0,8719
4000	15,867	0,1793	0,8017	1,7437
8000	31,733	0,3586	1,6034	3,4875
16000	63,467	0,7172	3,2068	6,9750
32000	123,933	1,4343	6,4136	13,9499

Para melhor observar o comportamento da curva de PTS, fez-se a extrapolação para frequências muito acima de 16 kHz, apresentada na Figura 51. A extrapolação foi realizada apenas para verificar o comportamento acima das frequências audíveis do método analítico aplicado.

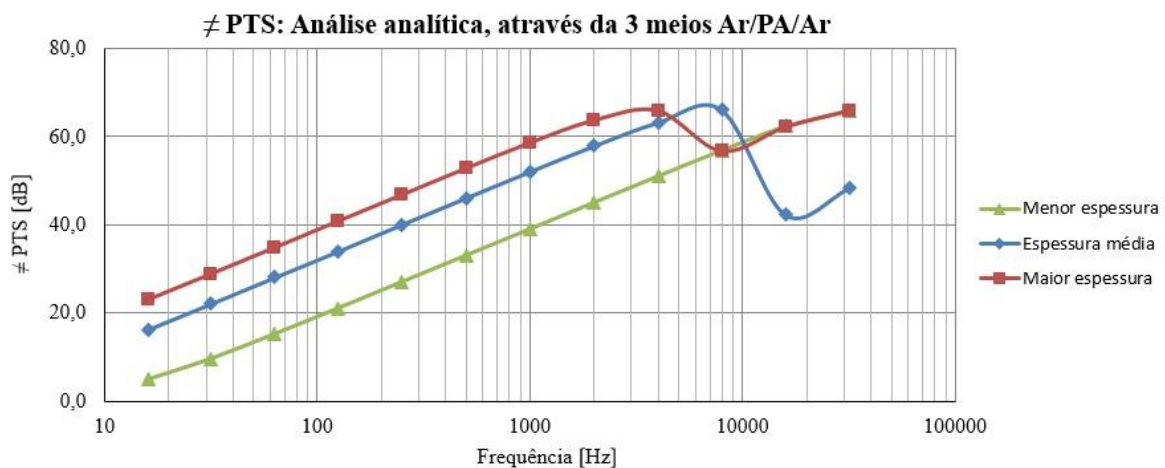


Figura 51: ≠ PTS: análise através de três meios, para Ar/PA/Ar (extrapolação da frequência)

O surgimento das quedas nas curvas cíclicas, representado na Figura 51, decorreram dos surgimentos da ressonância estimuladas pela pressão de flexão, que resultaram da passagem da onda de incidência. Tem forma diferenciada para as diferentes espessuras da parede abdominal em função do comprimento de onda (λ). O λ varia de acordo com a frequência e as espessuras também variaram. Para as frequências maiores, o λ será menor

(é inversamente proporcional - Equação 44). Assim está associado ao número de onda (k), uma vez que o k aumenta com o incremento da frequência (Temkin 2001).

6.3.2 PTS para a situação Ar/PA/Ar, através MEF: PA única (2D)

Os resultados apresentados na Tabela 29 referem-se à aplicação do modelo MEF, em simulação 2D, com o intuito de verificar o comportamento na PA para aplicação da simulação para os meios Ar/PA/Ar, para a pressão de incidência de 1 Pa.

Os resultados foram similares ao comportamento dos resultados de PTS pela Lei da Massa e pelo método através de três meios. A seguir, na Figura 52 ilustra graficamente os resultados obtidos.

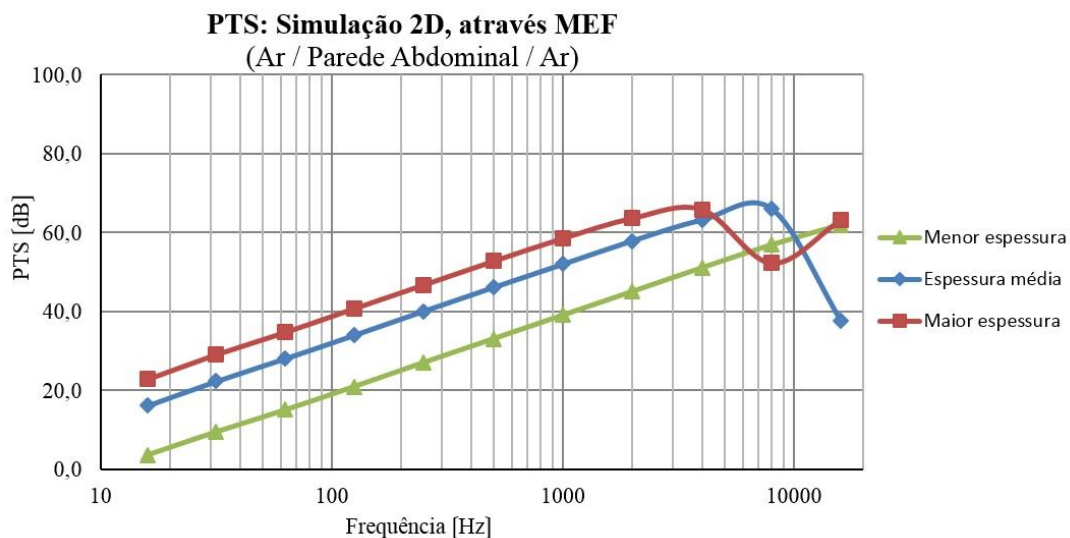


Figura 52: \neq PTS através de MED simulação 2D, para Ar/PA/Ar

O comportamento apontado pelo gráfico da Figura 52 acompanha o comportamento das curvas descritas no modelo analítico, através de três meios, com as mesmas descontinuidades nos valores de PTS da sequência de diferença da PTS (\neq PTS) entre as duplicações da frequência de banda de oitava.

6.4 Interpretação dos resultados de PTS - Ar/PA/LiqAmn: método analítico

Os resultados apresentados na Tabela 26, permitem perceber que para a faixa de frequência de oitava, entre 16 Hz e 2 kHz, o valor é em torno de 29,7 dB. As variações estão acima da frequência 2 kHz, mesmo considerando variação pequena. Mas, a referida

variação para estas frequências, correspondem à condição de contorno do método analítico de $k_2 \ell \ll 1$ (ver Tabela 41). Acima destas frequências o método não tem mais validade para a menor espessura, quando extrapolado para a condição de 32 kHz. Na espessura média, a validade do método está até a frequência de 2 kHz e na maior espessura a validade vai até a frequência de 1 kHz. Resultantes da ocorrência de ressonâncias em função da espessura da PA, estimuladas pela pressão de flexão, que resultaram da passagem da onda de incidência (Temkin 2001). A Figura 53 representa graficamente os resultados obtidos da PTS para a situação Ar/PA/LiqAmn.

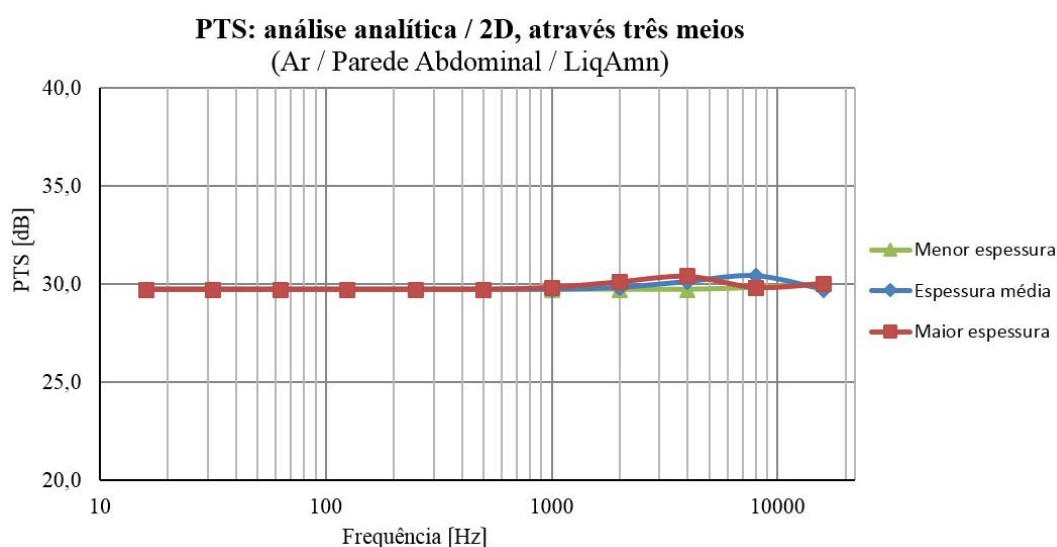


Figura 53: PTS: análise através de 3 três meios, para Ar/PA/LiqAmn

A análise que segue tem o apoio das ferramentas de estatísticas, para validade da informação inicial de pouca variabilidade entre os dados de PTS gerados com a aplicação do método analítico, através de três meios.

A Tabela 42 apresenta a análise descritiva dentro da concepção estatística, para os resultados obtidos pelo método analítico, através dos três meios (Ar/PA/LiqAmn).

Tabela 42: Análise descritiva, dos resultados do método analítico através de três meios (2D)

Estatísticas descritivas PTS [dB]									
Tratamentos	Níveis	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Geral		33	29,75	0,19	29,30	29,70	29,70	29,70	30,30
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16	3	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	31,5	3	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	63	3	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	125	3	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	250	3	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	500	3	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	1000	3	29,77	0,12	29,70	29,70	29,70	29,90	29,90
	2000	3	29,93	0,32	29,70	29,70	29,80	30,30	30,30
	4000	3	29,97	0,25	29,70	29,70	30,00	30,20	30,20
	8000	3	29,90	0,35	29,70	29,70	29,70	30,30	30,30
	16000	3	29,50	0,17	29,30	29,30	29,60	29,60	29,60
Espessura	Menor	11	29,69	0,03	29,60	29,70	29,70	29,70	29,70
	Média	11	29,75	0,24	29,30	29,70	29,70	29,80	30,30
	Maior	11	29,81	0,23	29,60	29,70	29,70	29,90	30,30

Desta análise descritiva, apresentam-se na Tabela 43 os resultados da análise por variância (ANOVA). Pela análise por variância, ANOVA, com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), não há diferença estatisticamente significativa entre os níveis dos tratamentos ($p > 0,05$).

Tabela 43: Análise inferencial (ANOVA), dos resultados do método analítico através de três meios (2D)

Fatores	SS	gl	MS	F	p
Frequência de banda de oitava	0,54	10	0,05	2	0,1139
Espessura	0,08	2	0,04	1	0,2894
Erro	0,58	20	0,03		

Obs.: **SS**: Soma dos quadrados, **gl**: graus de liberdade, **MS**: quadrados médios, **F**: frequência estatística, **p**: probabilidade

A aplicação do teste de Tukey com o intuito de identificar os grupos homogêneos e com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Frequência. Estas informações estão descritas na Tabela 44, para identificar os grupos homogêneos, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), também se conclui que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Frequência.

Tabela 44: Teste de Tukey, dos resultados do método analítico através de três meios (2D)

Tratamentos		Média PTS [dB]	Grupos
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16000	29,5	a
	31.5	29,7	a
	63	29,7	a
	125	29,7	a
	250	29,7	a
	500	29,7	a
	16	29,7	a
	1000	29,8	a
	8000	29,9	a
	2000	29,9	a
	4000	30,0	a
Espessura	Menor espessura	29,7	a
	Espessura média	29,7	a
	Maior espessura	29,8	a

A mesma conclusão é identificada para a aplicação do teste de Tukey, também não há diferença estatisticamente significativa entre as médias de PTS para o tratamento Espessuras.

Os resultados de PTS gerados pelo método analítico, através de três meios, indicam que a perda de transmissão na parede abdominal de menor espessura e média espessura é de 29,7 dB e a de maior espessura é de 29,8 dB.

6.5 Interpretação dos resultados de PTS - Ar/PA/LiqAmn: método de elementos finitos (MEF)

A descrição da interpretação dos resultados de PTS para o método de elementos finitos (MEF), para Ar/PA/LiqAmn, seguirá a apresentada para as simulações em 2D e 3D, para o meio 2 nas condições de meio único e com a divisão das camadas.

6.5.1 PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D (meio 2: único)

Os resultados das simulações em 2D, para o meio 2 como único, foram apresentados na Tabela 30. A aplicação foi realizada com a variação das pressões para cada frequência de oitava (espectro 16 Hz e 16 kHz), correspondentes aos veículos automóveis, nos diferentes pavimentos.

Na Figura 54 e Figura 55 estão apresentados os gráficos que ilustra os resultados das simulações em 2D. Por estas simulações foram constatadas continuidade nas curvas correspondentes as espessuras da PA, que se sobrepuseram próximo ao valor para PTS de

30 dB, no intervalo de frequência de banda de oitava de 16 Hz a 1 kHz. Acima de 1 kHz, as curvas apresentaram comportamento similar ao descrito no subcapítulo 6.3.1. Surgiram as modificações da configuração das curvas em alta frequência, decorrentes do surgimento da ressonância estimulada pela pressão de flexão, resultante da passagem da onda de incidência. Tem forma diferenciada para cada espessura da parede abdominal em função do comprimento de onda (λ). O λ varia de acordo com a frequência e as espessuras também variaram. Para as frequências maiores, o λ será menor. Assim, está associado ao número de onda (k), uma vez que o k aumenta com o incremento da frequência (Temkin 2001).

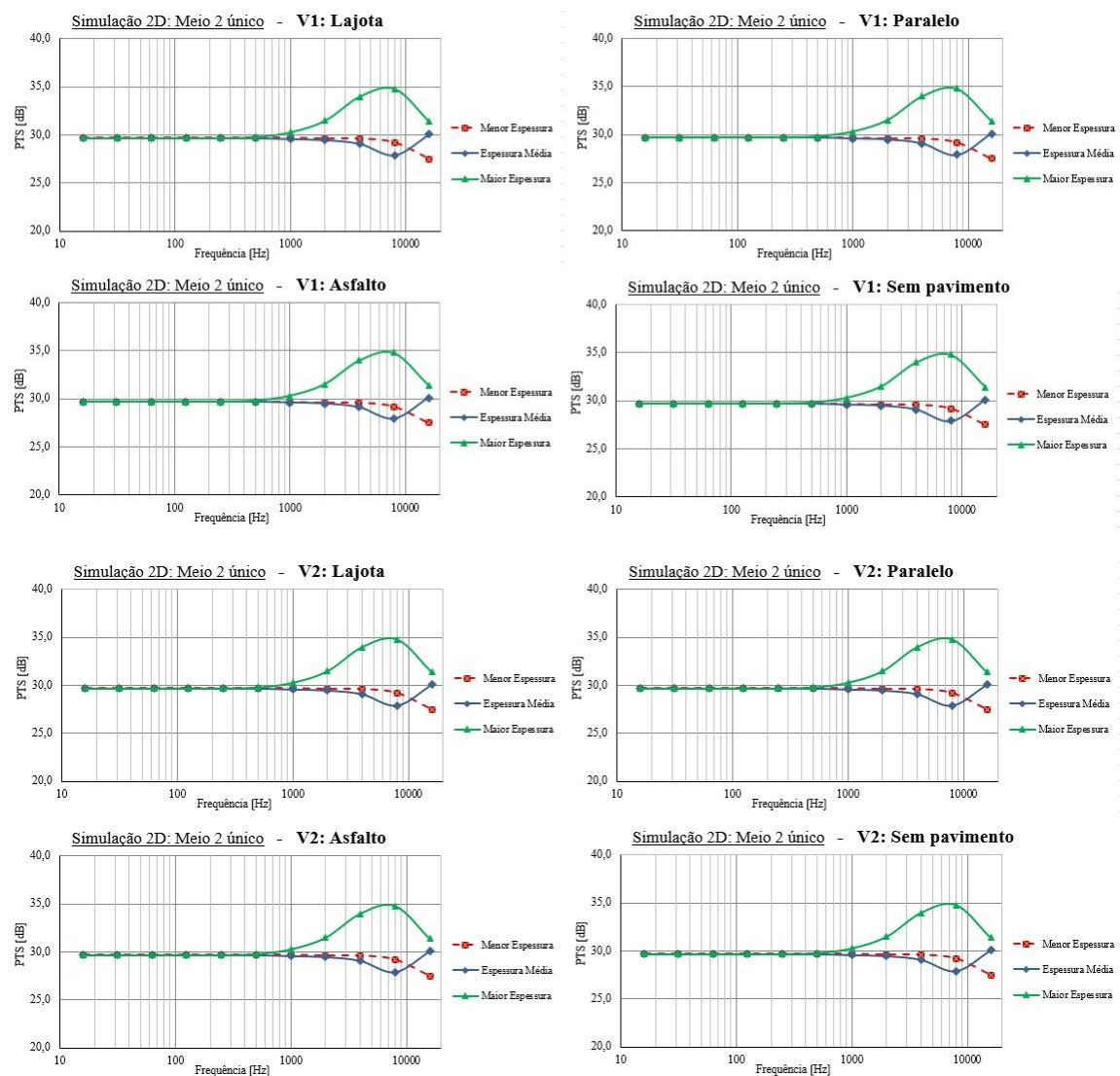


Figura 54: PTS: MEF simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (único), dos Veículos 1 e 2 por pavimento

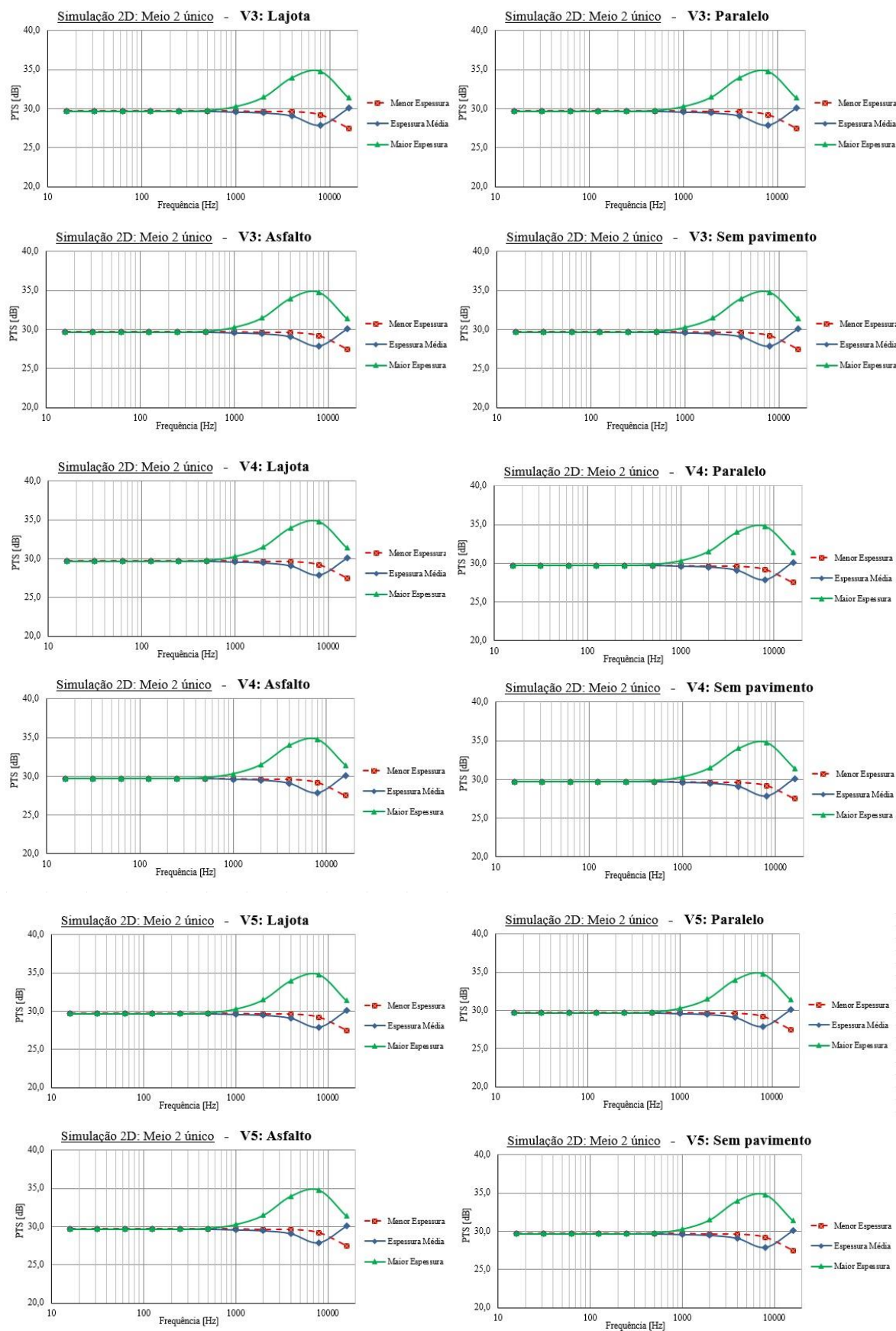


Figura 55: PTS: MED simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (único), dos Veículo 3, 4 e 5 por pavimento

A análise que segue, tem o apoio das ferramentas de estatística, para validar a informação inicial de pouca variabilidade entre os dados de PTS gerados, com a aplicação das simulações 2D em MEF.

A Tabela 45 apresenta a análise descritiva dentro da concepção da estatística, para os resultados obtidos pelo MEF (Ar/PA/LiqAmn – único).

Tabela 45: Análise descritiva, dos resultados MEF (2D), meio 2: espessura única

		Estatísticas descritivas PTS [dB]							
Tratamentos	Níveis	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Veículo	Geral	660	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	V1	132	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	V2	132	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	V3	132	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	V4	132	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	V5	132	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
Pavimento	Lajota	165	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	Paralelo	165	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	Asfalto	165	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
	Sem pavimento	165	29,95	1,31	27,60	29,70	29,70	29,70	34,80
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	31,5	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	63	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	125	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	250	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	500	60	29,73	0,05	29,70	29,70	29,70	29,80	29,80
	1000	60	29,83	0,26	29,60	29,60	29,70	30,20	30,20
	2000	60	30,20	0,93	29,50	29,50	29,60	31,50	31,50
	4000	60	30,83	2,19	29,10	29,10	29,50	33,90	33,90
	8000	60	30,63	3,02	27,90	27,90	29,20	34,80	34,80
Espessura	16000	60	29,73	1,60	27,60	27,60	30,20	31,40	31,40
	Maior	220	30,92	1,75	29,70	29,70	29,80	31,50	34,80
	Média	220	29,50	0,56	27,90	29,50	29,70	29,70	30,20
	Menor	220	29,44	0,60	27,60	29,50	29,70	29,70	29,70

Desta análise descritiva, apresenta-se na Tabela 46 os resultados da análise por variância (ANOVA). Por esta análise, com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), não há diferença estatisticamente significativa entre os níveis dos tratamentos Veículo e Pavimento ($p > 0,05$). E para os tratamentos Frequência central de banda de oitava e Espessura houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Tabela 46: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (2D), meio 2: espessura única

Fatores	SS	gl	MS	F	p	
Veículo	0,00	4	0,00	0	1,0000	$p > 0,05$
Pavimento	0,00	3	0,00	0	1,0000	$p > 0,05$
Frequência central de banda de oitava	103,78	10	10,38	9	0,0000	$p < 0,05$
Espessura	308,81	2	154,41	138	0,0000	$p < 0,05$
Erro	718,65	640	1,12			

Obs.: **SS**: Soma dos quadrados, **gl**: graus de liberdade, **MS**: quadrados médios, **F**: frequência estatística, **p**: probabilidade

A aplicação do teste de Tukey com o intuito de identificar os grupos homogêneos e com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Veículo e Pavimento. Estas conclusões estão descritas na Tabela 47.

Tabela 47: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (2D), meio 2: espessura única

Tratamentos	Média PTS [dB]	Grupos
Veículo	V2	29,95
	V3	29,95
	V4	29,95
	V5	29,95
	V1	29,95
Pavimento	Paralelo	29,95
	Asfalto	29,95
	Sem pavimento	29,95
	Lajota	29,95
Frequência central da banda de oitava [Hz]	31.5	29,70
	63	29,70
	125	29,70
	250	29,70
	16	29,70
	500	29,73
	16000	29,73
	1000	29,83
	2000	30,20
	8000	30,63
Espessura	4000	30,83
	Menor espessura	29,44
	Espessura média	29,50
	Maior espessura	30,92

Porém, os grupos homogêneos, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento

Frequência. As frequências 4 e 8 kHz formam um grupo, as frequências 2 e 8 kHz formam um outro grupo, sendo que a frequência 4 kHz apresentou diferença estatisticamente da frequência 2 kHz. As demais frequências formaram um grupo, sendo que as frequências 4 e 8 kHz apresentaram diferença estatisticamente significativas desse grupo. E também há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Espessura. A maior espessura apresentou diferença estatisticamente das demais espessuras.

A diferença estatisticamente significativa entre as médias de PTS, aparecem na aplicação do MEF, para PA de espessura única, nas frequências de oitava mencionadas na análise analítica. As diferenças estatísticas são influenciadas, como mencionado anteriormente, pelo surgimento da ressonância estimulada pela pressão de flexão, resultante da passagem da onda de incidência (Temkin 2001).

6.5.2 PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 2D (meio 2: todas as camadas)

Os resultados das simulações em 2D, para o meio 2 considerando todas as camadas, estão apresentados na Tabela 31. A aplicação foi realizada com a variação das pressões para cada frequência de oitava correspondentes (espectro 16 Hz e 16 kHz), correspondentes aos veículos automóveis, nos diferentes pavimentos.

Na

Figura 56 e na Figura 57 estão apresentados os gráficos dos resultados das simulações em 2D. Por estas simulações foram constatadas continuidade nas curvas correspondentes as espessuras da PA, que se sobrepuseram próximo ao valor para PTS de 30 dB, no intervalo de frequência de banda de oitava de 16 Hz a 1 kHz. Acima de 1 kHz, as curvas apresentaram comportamento similar ao descrito no subcapítulo 6.3.1.

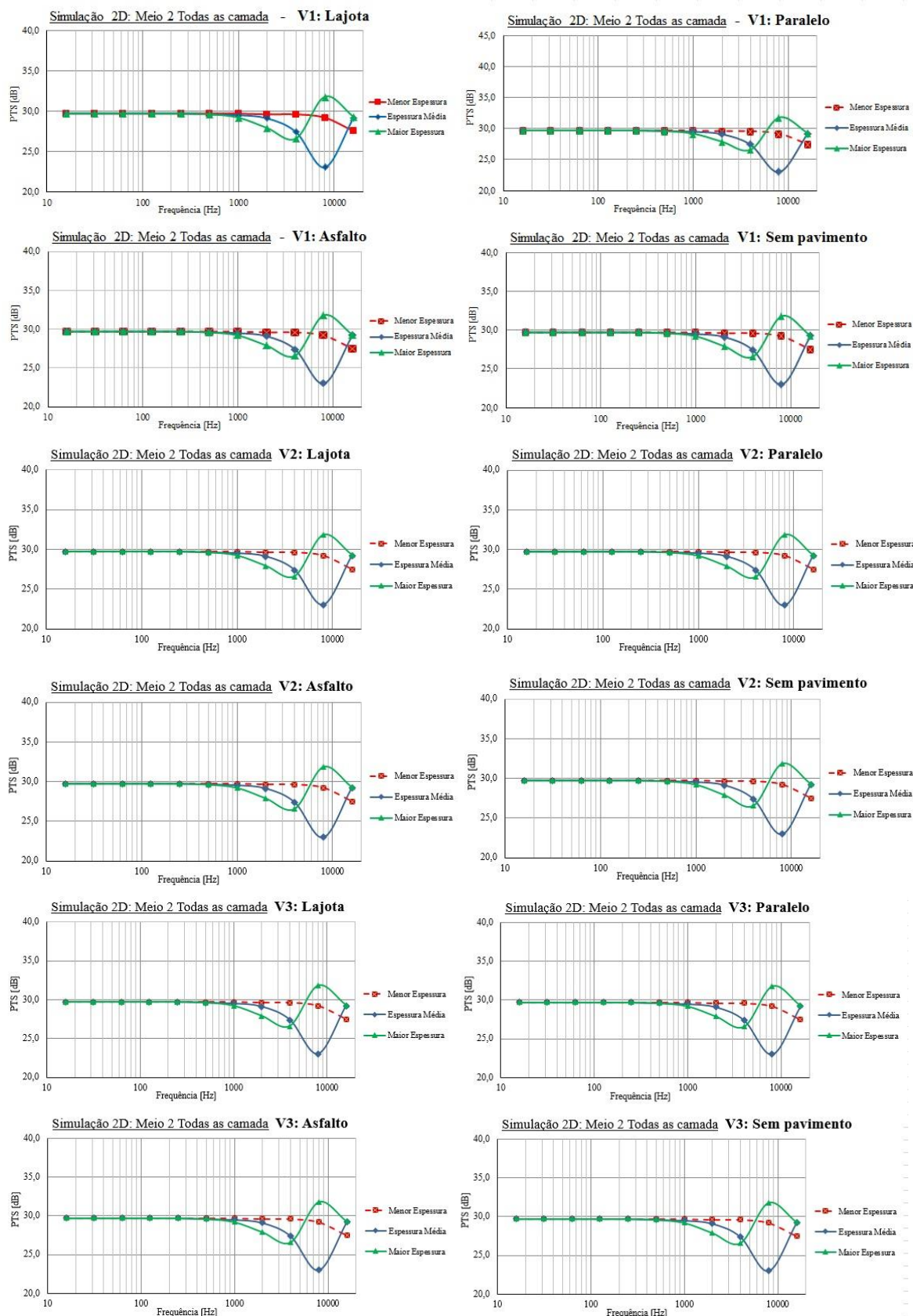


Figura 56: PTS: MEF simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), dos Veículos 1, 2 e 3 por pavimento

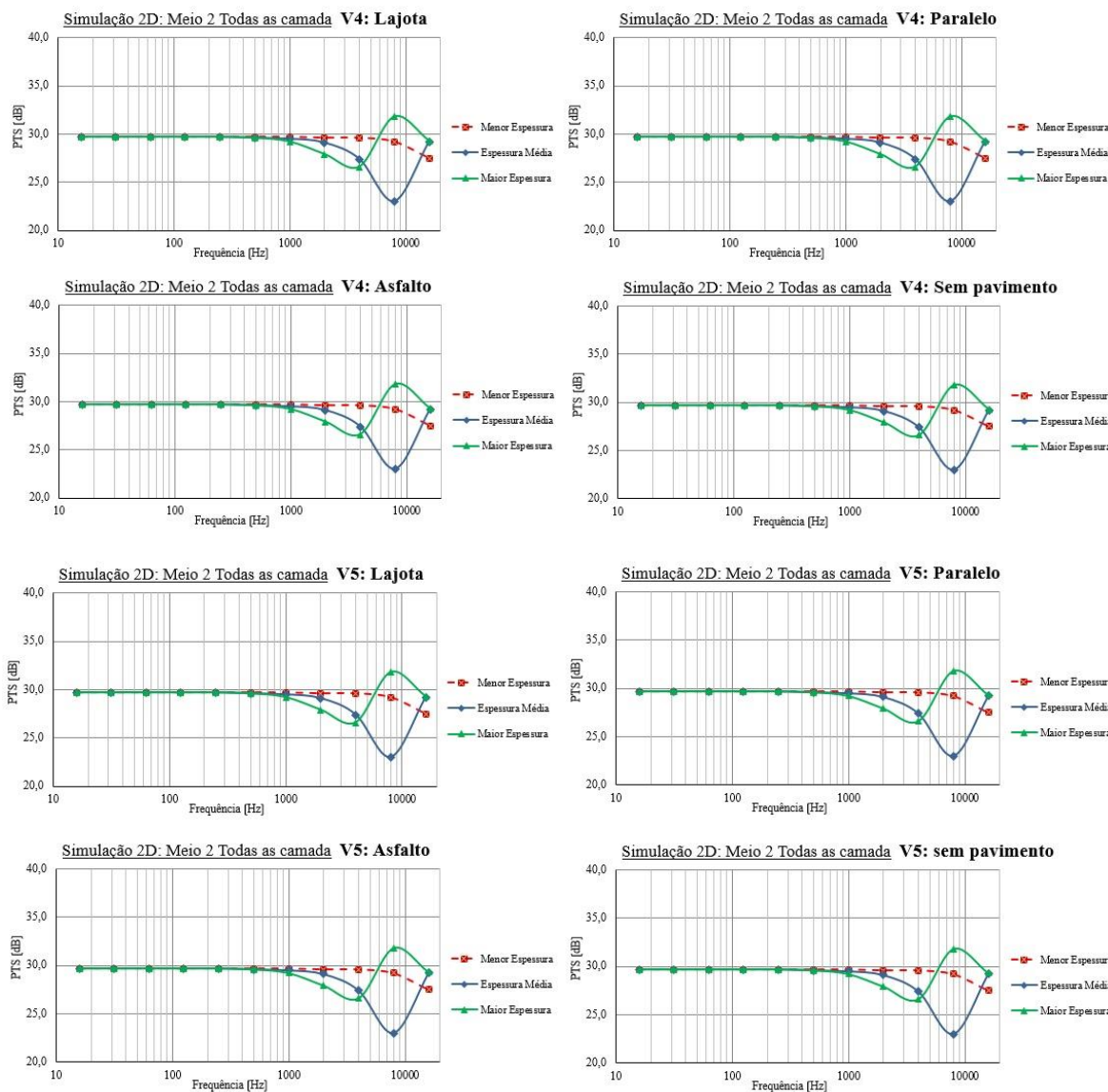


Figura 57: PTS: MEF simulação 2D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), dos Veículos 4 e 5 por pavimento

A análise que segue, tem o apoio das ferramentas de estatísticas, para também validar a informação de pouca variabilidade entre os dados de PTS gerados, com a aplicação das simulações 2D em MEF.

A Tabela 48 apresenta a análise descritiva dentro da concepção da estatística, para os resultados obtidos pelo MEF (Ar/PA/LiqAmn - todas as camadas).

Tabela 48: Análise descritiva, dos resultados MEF (2D), meio 2: com as divisões das camadas

Estatísticas descritivas PTS [dB]									
Tratamentos	Níveis	N	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Geral		660	29,18	1,38	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
Veículo	V1	132	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
	V2	132	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
	V3	132	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
	V4	132	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
	V5	132	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
Pavimento	Lajota	165	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
	Paralelo	165	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
	Asfalto	165	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
	Sem pavimento	165	29,18	1,39	23,00	29,20	29,70	29,70	31,80
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	31.5	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	63	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	125	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	250	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	500	60	29,60	0,08	29,50	29,50	29,60	29,70	29,70
	1000	60	29,47	0,21	29,20	29,20	29,50	29,70	29,70
	2000	60	28,87	0,72	27,90	27,90	29,10	29,60	29,60
	4000	60	27,93	1,14	26,90	26,90	27,40	29,50	29,50
	8000	60	27,97	3,71	23,00	23,00	29,10	31,80	31,80
Espessura	16000	60	28,67	0,83	27,50	27,50	29,20	29,30	29,30
	Maior	220	29,37	1,16	26,90	29,20	29,70	29,70	31,80
	Média	220	28,75	1,94	23,00	29,10	29,60	29,70	29,70
	Menor	220	29,42	0,63	27,50	29,50	29,70	29,70	29,70

Desta análise descritiva, apresenta-se na Tabela 49 os resultados da análise por variância (ANOVA). Por esta análise, com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), não há diferença estatisticamente significativa entre os níveis dos tratamentos Veículo e Pavimento ($p > 0,05$). E para os tratamentos Frequência central de banda de oitava e Espessura houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Tabela 49: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (2D), meio 2: com as divisões das camadas

Fatores	SS	gl	MS	F	p
Veículo	0,00	4	0,00	0	1,0000
Pavimento	0,00	3	0,00	0	1,0000
Frequência central de banda de oitava	299,92	10	29,99	21	0,0000
Espessura	60,47	2	30,24	21	0,0000
Erro	902,99	640	1,41		

Obs.: **SS**: Soma dos quadrados, **gl**: graus de liberdade, **MS**: quadrados médios, **F**: frequência estatística, **p**: probabilidade

A aplicação do teste de Tukey com o intuito de identificar os grupos homogêneos e com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Frequência. Estas informações estão descritas na Tabela 50, para identificar os grupos homogêneos, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para os tratamentos Veículo e Pavimento.

Tabela 50: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (2D), meio 2: com as divisões das camadas

Tratamentos	Média PTS [dB]	Grupos
Veículo	V2	29,18 a
	V3	29,18 a
	V4	29,18 a
	V5	29,18 a
	V1	29,18 a
Pavimento	Paralelo	29,18 a
	Asfalto	29,18 a
	Sem pavimento	29,18 a
	Lajota	29,18 a
Frequência central da banda de oitava [Hz]	4000	27,93 a
	8000	27,97 a
	16000	28,67 b
	2000	28,87 b c
	1000	29,47 d c
	500	29,60 d
	125	29,70 d
	63	29,70 d
	31.5	29,70 d
	16	29,70 d
	250	29,70 d
Espessura	Média	28,75 a
	Menor	29,37 b
	Maior	29,42 b

Porém, os grupos homogêneos, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Frequência. As frequências 4 e 8 kHz formaram um grupo e apresentaram diferença estatisticamente entre as demais frequências. As frequências 2 e 16 kHz formaram um grupo e apresentaram diferença estatisticamente significativas entre as demais frequências, entretanto a Frequência 2 kHz formou um grupo com a Frequência 1kHz. E também há

diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Espessura. A espessura média apresentou diferença estatisticamente das demais espessuras.

A diferença estatisticamente significativa entre as médias de PTS, aparecem na aplicação do MEF, para PA de espessura única, nas frequências central de banda de oitava mencionadas na análise analítica. Igualmente como citados nos itens anteriores, as diferenças estatísticas são influenciadas pelo surgimento da ressonância estimulada pela pressão de flexão, resultante da passagem da onda de incidência (Temkin 2001).

6.5.3 PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D (meio 2: única)

Os resultados das simulações em 3D, para o meio 2 como único, estão apresentados na Tabela 32. A aplicação foi realizada com a variação das pressões para cada frequência de oitava correspondentes (espectro 16 Hz e 16 kHz), correspondentes aos veículos automóveis, nos diferentes pavimentos.

Na

Figura 58 a Figura 60 estão apresentados os gráficos dos resultados das simulações em 2D. Por estas simulações foram constatadas continuidade nas curvas correspondentes as espessuras da PA, que se sobrepuseram próximo ao valor para PTS de 30 dB, no intervalo de frequência de banda de oitava de 16 Hz a 1 kHz. Acima de 1 kHz, as curvas apresentaram comportamento similar ao descrito no subcapítulo 6.3.1.

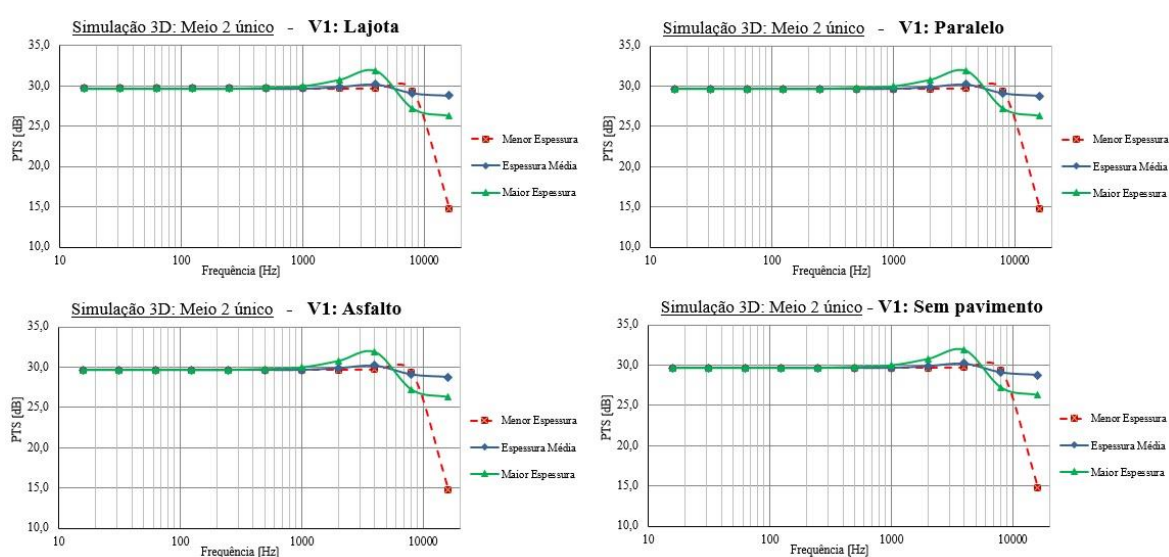


Figura 58: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (único), Veículo 1 por pavimento

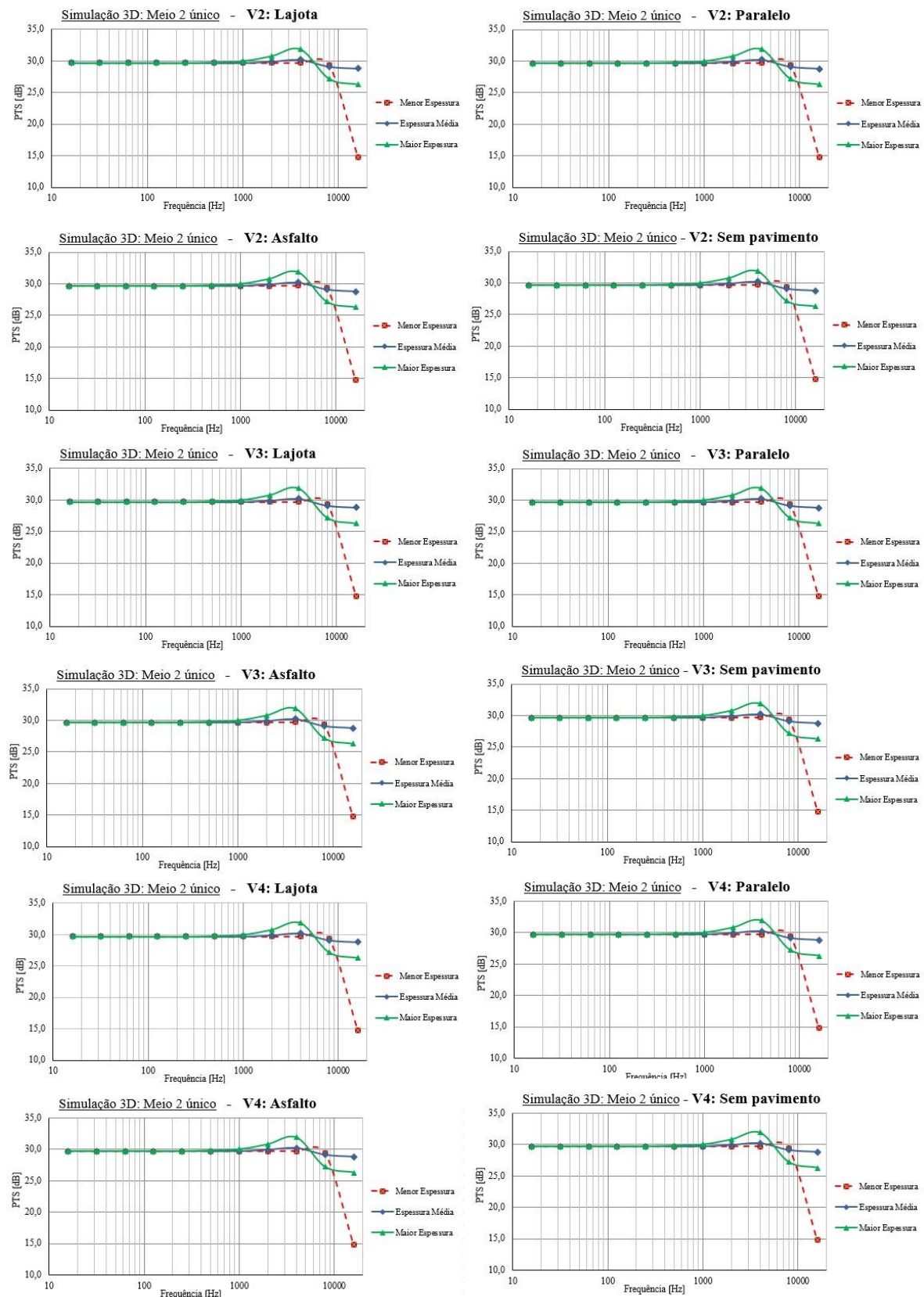


Figura 59: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (único), dos Veículos 2, 3 e 4 por pavimento

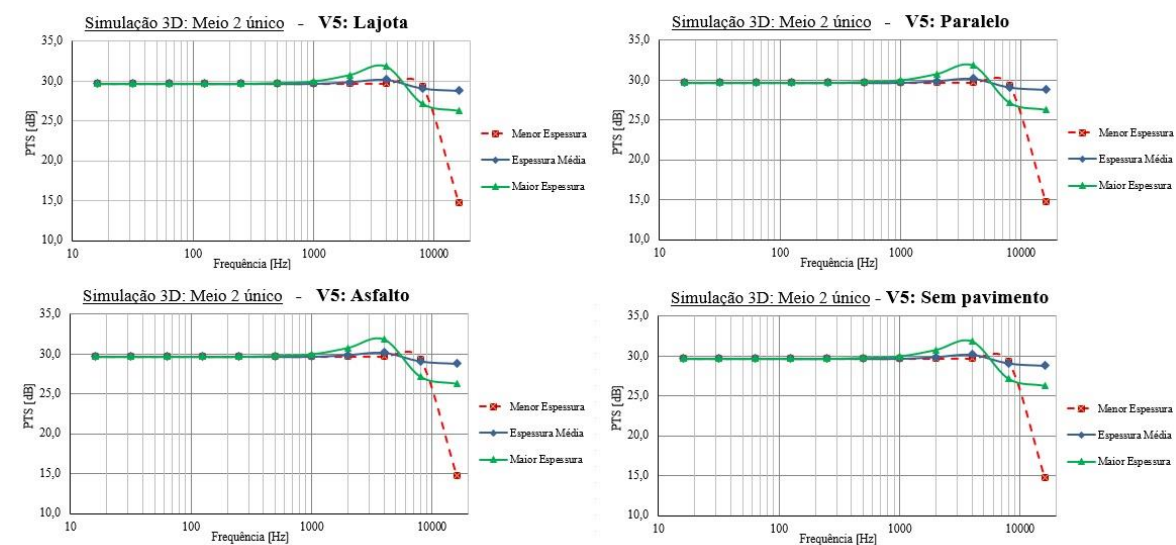


Figura 60: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (único), Veículo 5 por pavimento

A análise que segue, também teve o apoio das ferramentas de estatísticas, para validar a informação inicial de pouca variabilidade entre os dados de PTS gerados, com a aplicação das simulações 2D em MEF.

A Tabela 51 apresenta a análise descritiva dentro da concepção da estatística, para os resultados obtidos pelo MEF (Ar/PA/LiqAmn - único).

Tabela 51: Análise descritiva, dos resultados MEF (3D), meio 2: espessura com as divisões das camadas

Estatísticas descritivas PTS [dB]									
Tratamentos	Níveis	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Veículo	Geral	660	29,14	2,68	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	V1	132	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	V2	132	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	V3	132	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	V4	132	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	V5	132	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
Pavimento	Lajota	165	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	Paralelo	165	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	Asfalto	165	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
	Sem pavimento	165	29,14	2,69	14,80	29,70	29,70	29,70	31,90
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	31.5	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	63	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	125	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	250	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	500	60	29,73	0,05	29,70	29,70	29,70	29,80	29,80
	1000	60	29,80	0,14	29,70	29,70	29,70	30,00	30,00
	2000	60	30,13	0,48	29,70	29,70	29,90	30,80	30,80
	4000	60	30,57	0,98	29,60	29,60	30,20	31,90	31,90
	8000	60	28,50	0,94	27,20	27,20	29,00	29,30	29,30
	16000	60	23,30	6,15	14,80	14,80	26,30	28,80	28,80
Espessura	Maior	220	29,50	1,47	26,30	29,70	29,70	30,00	31,90
	Média	220	29,62	0,37	28,80	29,70	29,70	29,70	30,20
	Menor	220	28,30	4,28	14,80	29,60	29,70	29,70	29,70

Desta análise descritiva, apresenta-se na Tabela 52 os resultados da análise por variância (ANOVA). Por esta análise, com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), não há diferença estatisticamente significativa entre os níveis dos tratamentos Veículo e Pavimento ($p > 0,05$). E para os tratamentos Frequência central da banda de oitava e Espessura houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Tabela 52: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (3D), meio 2: espessura única

Fatores	SS	gl	MS	F	p
Veículo	0,00	4	0,00	0	1,0000
Pavimento	0,00	3	0,00	0	1,0000
Frequência central de banda de oitava	2393,58	10	239,36	72	0,0000
Espessura	234,05	2	117,02	35	0,0000
Erro	2119,55	640	3,31		

Obs.: **SS**: Soma dos quadrados, **gl**: graus de liberdade, **MS**: quadrados médios, **F**: frequência estatística, **p**: probabilidade

A aplicação do teste de Tukey com o intuito de identificar os grupos homogêneos e com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Veículo e Pavimento. Estas conclusões estão descritas na Tabela 53.

Tabela 53: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (3D), meio 2: espessura única

Tratamentos	Média PTS [dB]	Grupos
Veículo	V2	29,14
	V3	29,14
	V4	29,14
	V5	29,14
	V1	29,14
Pavimento	Paralelo	29,14
	Asfalto	29,14
	Sem pavimento	29,14
	Lajota	29,14
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16000	23,30
	8000	28,50
	125	29,70
	250	29,70
	16	29,70
	63	29,70
	31.5	29,70
	500	29,73
	1000	29,80
	2000	30,13
	4000	30,57
Espessura	Menor	28,30
	Maior	29,50
	Média	29,62

Porém, os grupos homogêneos, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Frequência. As frequências 8 e 16 kHz apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si e entre as demais frequências, que formaram um grupo homogêneo. E também há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Espessura. A menor espessura apresentou diferença estatisticamente das demais espessuras.

A diferença estatisticamente significativa entre as médias de PTS, aparecem na aplicação do MEF, para PA de espessura única, nas frequências de oitava mencionadas na

análise analítica. Igualmente como citados nos itens anteriores, a diferença estatísticas são influenciadas pelo surgimento da ressonância estimulada pela pressão de flexão, resultante da passagem da onda de incidência (Temkin 2001).

6.5.4 PTS para situação Ar/PA/LiqAmn, simulação 3D (meio 2: todas as camadas)

Os resultados das simulações em 3D, para o meio 2 considerando todas as camadas, estão apresentados na Tabela 33. A aplicação foi realizada com a variação das pressões para cada frequência de oitava correspondentes (espectro 16 Hz e 16 kHz), correspondentes aos veículos automóveis, nos diferentes pavimentos.

Da Figura 61 a Figura 63 estão apresentados os gráficos dos resultados das simulações em 2D. Por estas simulações foram constatadas continuidade nas curvas correspondentes as espessuras da PA, que se sobrepuseram próximo ao valor para PTS de 30 dB, no intervalo de frequência de banda de oitava de 16 Hz a 1 kHz. Acima de 1 kHz, as curvas apresentaram comportamento similar ao descrito no subcapítulo 6.3.1.

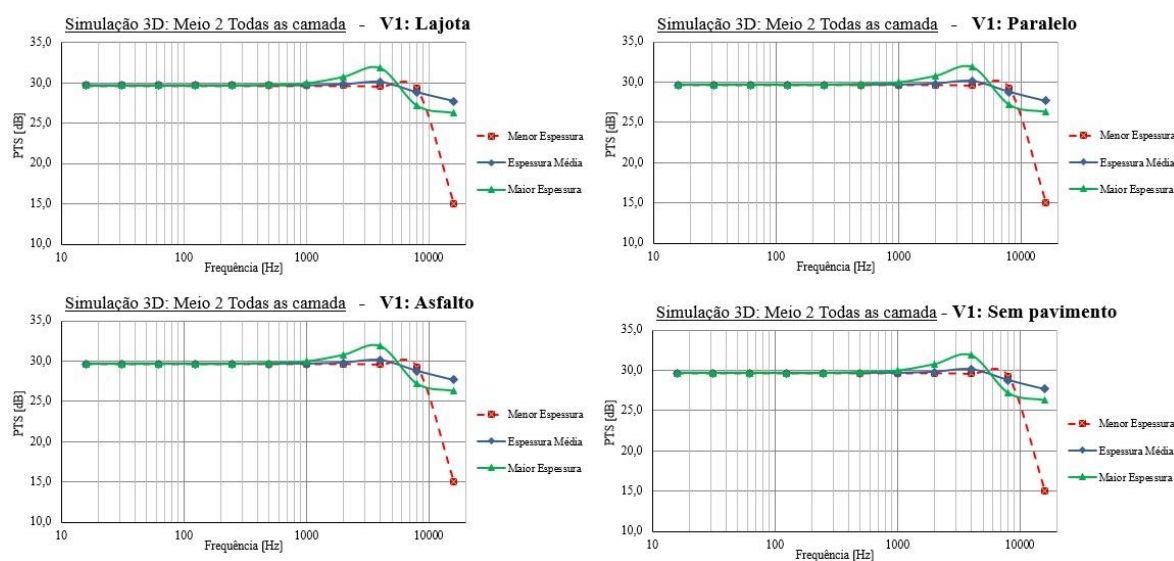


Figura 61: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), Veículo 1 por pavimento

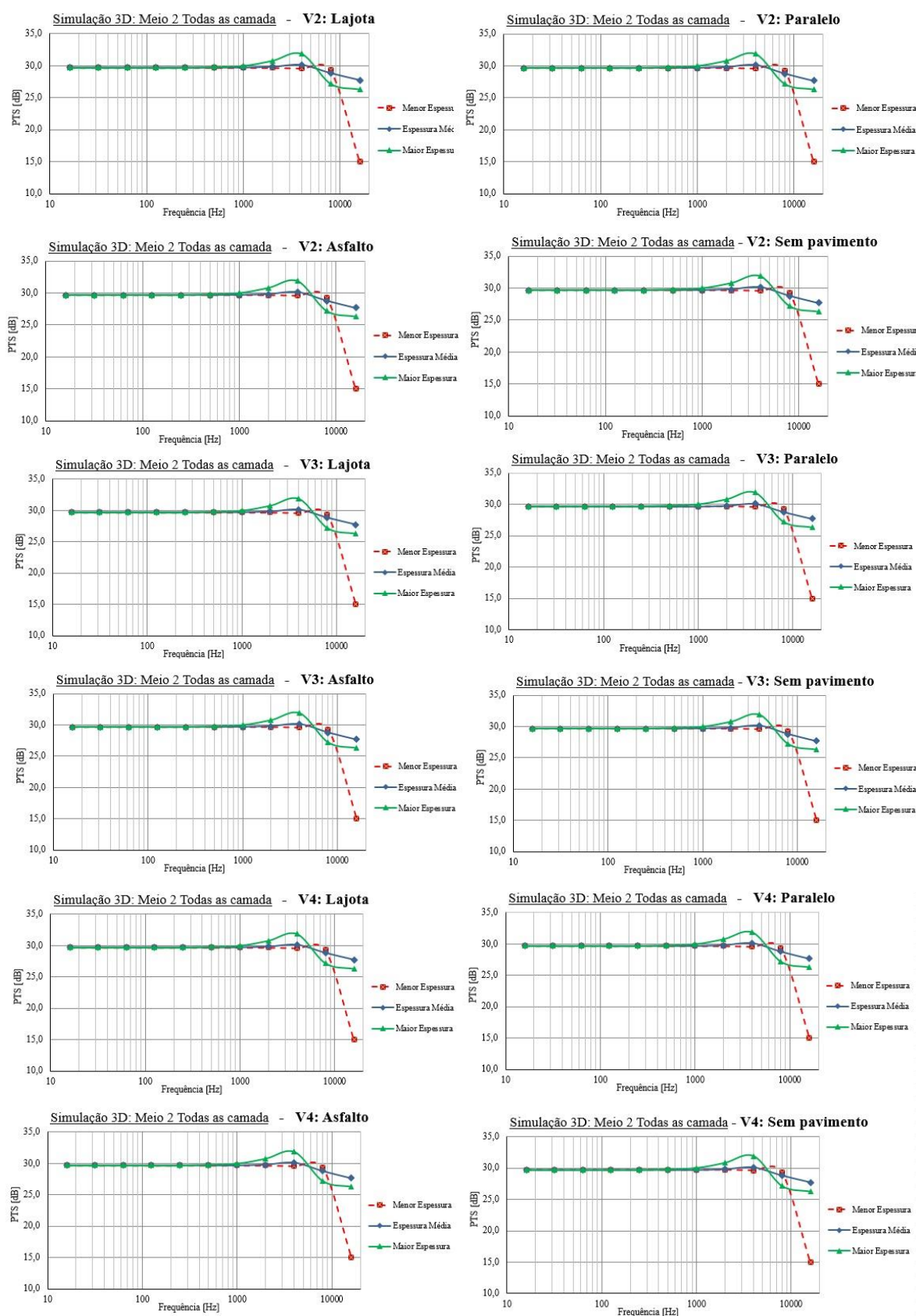


Figura 62: PTS: MEF simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), dos Veículos 2, 3 e 4 por pavimento

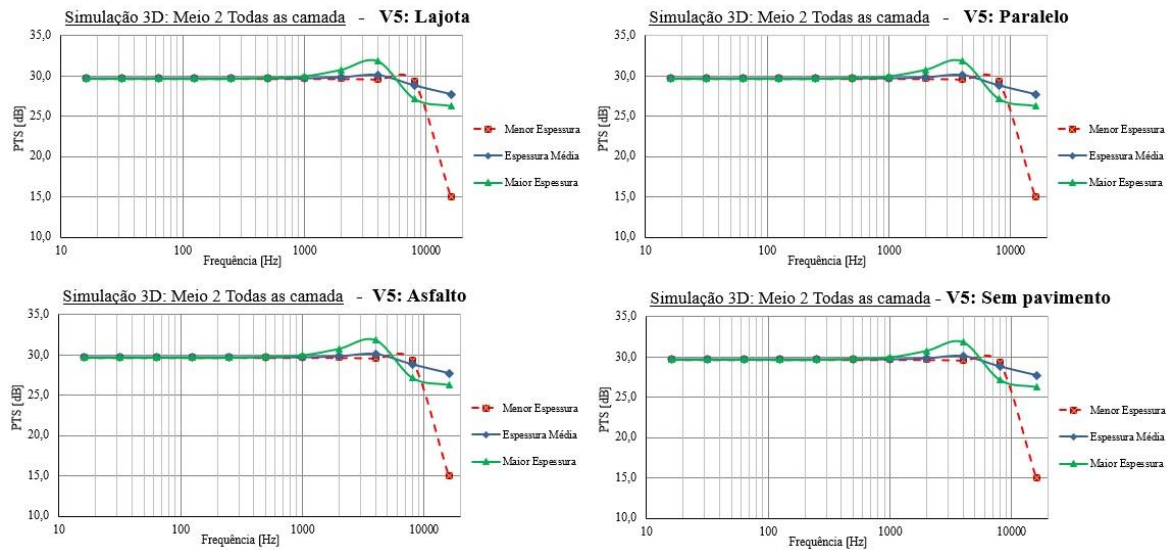


Figura 63: PTS: MED simulação 3D, para Ar/PA/LiqAmn (todas as camadas), Veículo 5 por pavimento

A análise que segue tem o apoio das ferramentas de estatísticas, para validade a informação inicial de pouca variabilidade entre os dados de PTS gerados com a aplicação das simulações 3D em MEF. A Tabela 54 apresenta a análise descritiva dentro da concepção da estatística, para os resultados obtidos pelo MEF (Ar/PA/LiqAmn).

Tabela 54: Análise descritiva, dos resultados MEF (3D), meio 2: com as divisões das camadas

Estatísticas descritivas PTS [dB]									
Tratamentos	Níveis	n	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º quartil	Mediana	3º quartil	Máximo
Veículo	Geral	660	29,06	2,68	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	V1	132	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	V2	132	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	V3	132	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	V4	132	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	V5	132	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
Pavimento	Lajota	165	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	Paralelo	165	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	Asfalto	165	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
	Sem pavimento	165	29,06	2,69	14,90	29,70	29,70	29,70	31,60
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	31,5	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	63	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	125	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	250	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	500	60	29,70	0,00	29,70	29,70	29,70	29,70	29,70
	1000	60	29,80	0,14	29,70	29,70	29,70	30,00	30,00
	2000	60	30,07	0,45	29,70	29,70	29,80	30,70	30,70
	4000	60	30,43	0,86	29,60	29,60	30,10	31,60	31,60
	8000	60	27,97	1,49	25,90	25,90	28,70	29,30	29,30
	16000	60	23,20	5,93	14,90	14,90	27,00	27,70	27,70
Espessura	Maior	220	29,40	1,52	25,90	29,70	29,70	30,00	31,60
	Média	220	29,47	0,65	27,70	29,70	29,70	29,70	30,10
	Menor	220	28,31	4,25	14,90	29,60	29,70	29,70	29,70

Desta análise descritiva, apresenta-se na Tabela 55 os resultados da análise por variância (ANOVA). Por esta análise, com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), não há diferença estatisticamente significativa entre os níveis dos tratamentos Veículo e Pavimento ($p > 0,05$). E para os tratamentos Frequência central de banda de oitava e Espessura houve diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$).

Tabela 55: Análise inferencial (ANOVA) dos resultados do MEF (3D), meio 2: com as divisões das camadas

Fatores	SS	gl	MS	F	p
Veículo	0,00	4	0,00	0	1,0000
Pavimento	0,00	3	0,00	0	1,0000
Frequência central de banda de oitava	2.486,38	10	248,64	77	0,0000
Espessura	186,96	2	93,48	29	0,0000
Erro	2.073,04	640	3,24		

Obs.: **SS**: Soma dos quadrados, **gl**: graus de liberdade, **MS**: quadrados médios, **F**: frequência estatística, **p**: probabilidade

A aplicação do teste de Tukey com o intuito de identificar os grupos homogêneos e com a consideração do nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Frequência. Estas informações estão descritas na Tabela 56, para identificar os grupos homogêneos, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que não há diferença estatisticamente significativa entre as médias para os tratamentos Veículo e Pavimento.

Tabela 56: Teste de Tukey, dos resultados do MEF (3D), meio 2: com as divisões das camadas

Tratamentos		Média PTS [dB]	Grupos
Veículo	V2	29,06	a
	V3	29,06	a
	V4	29,06	a
	V5	29,06	a
	V1	29,06	a
Pavimento	Paralelo	29,06	a
	Asfalto	29,06	a
	Sem pavimento	29,06	a
	Lajota	29,06	a
Frequência central da banda de oitava [Hz]	16000	23,20	a
	8000	27,97	b
	125	29,70	c
	250	29,70	c
	500	29,70	c
	63	29,70	c
	31.5	29,70	c
	16	29,70	c
	1000	29,80	c
	2000	30,07	c
	4000	30,43	c
Espessura	Espessura média	28,31	a
	Menor espessura	29,40	b
	Maior espessura	29,47	b

Porém, os grupos homogêneos, ao considerar o nível de significância de 0,05 (5%), conclui-se que há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Frequência. As frequências 8 e 16 kHz apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre si e entre as demais frequências, que formaram um grupo homogêneo. E também há diferença estatisticamente significativa entre as médias para o tratamento Espessura. A espessura média apresentou diferença estatisticamente das demais espessuras.

A diferença estatisticamente significativa entre as médias de PTS, aparecem na aplicação do MEF, para PA de espessura única, nas frequências de oitava mencionadas na análise analítica. As diferenças estatísticas são influenciadas pelo surgimento da ressonância estimulada pela pressão de flexão, resultante da passagem da onda de incidência (Temkin 2001).

Em todas as simulações, sendo em 2D ou 3D, ou com todas as camadas ou na consideração da espessura sem as camadas, foi apontada o surgimento da ressonância estimuladas pela pressão de flexão. A modificação da configuração das curvas em alta frequência está associada ao comprimento de onda (λ). O λ varia de acordo com a frequência. Para as frequências maiores, o λ será menor. Assim, está associado ao número de onda (k), uma vez que o k aumenta com o incremento da frequência (Temkin 2001).

A Figura 11 ilustra a associação entre k e λ citada por Temkin (2001) e auxilia o entendimento da influência do λ na passagem do onda sonora pela parede abdominal em todas as análises pelo método analítico e simulações em MEF.

As avaliações resultantes das aplicações dos métodos analítico e por MEF, apresentadas no resumo da Tabela 57, apontam que a PTS nos meios Ar/PA/LiqAmn está muito próximo de 30 dB.

As variações que surgiram foram decorrentes da frequência crítica correspondentes às situações de variação da espessura e conseqüentemente, pela ocorrência de pressão de flexão associada aos comprimentos de onda das frequências de banda de oitava. As referidas ocorrências estão descritas na representação gráfica, apresentada na Figura 10, referente à relação entre a razão entre das impedâncias acústicas dos meios 1 e 2 e $k_2 \ell$. Nas frequências altas, para a situação deste estudo, na menor espessura ocorreu menor λ , declínio no coeficiente de transmissão, conseqüentemente altera a PTS (Temkin 2001).

Tabela 57: Resumo das avaliações de PTS [dB] na PA, aplicadas pelos métodos analítico e por MEF

Perda de transmissão sonora (PTS) [dB]										
Projeção dimensional	2D						3D			
Método de análise	Analítico		Simulação MEF				Simulação MEF			
Condição da espessura	Única	G	Única	G	Todas camadas	G	Única	G	Todas camadas	G
Menor	29,69	(a)	29,44	(a)	29,42	(b)	29,50	(a)	29,40	(a)
Média	29,75	(a)	29,50	(a)	28,75	(a)	29,62	(b)	29,47	(b)
Maior	29,81	(b)	30,90	(b)	29,37	(b)	28,30	(b)	28,31	(b)

Obs.: G: grupos extraídos do teste de Tukey

Pela análise do resumo dos resultados da PTS, ao contrapor com os grupos indicados pelo teste Tukey, percebe-se que os agrupamentos foram realizados, mas a variação dentro do conceito acústico é muito pequena. Assim, os resultados mostram que os meios 2 e 3 se comportam como um meio único. Esta afirmação pode ser confrontada com as informações apresentadas na Tabela 21 de densidade e velocidade do som nas camadas que compõem a parede abdominal, bem como com os dados também de densidade 1.006 kg.m^{-3} do líquido amniótico (ver subcapítulo 2.1.6) e com a velocidade do som no líquido amniótico calculada em $1.527,5 \text{ m.s}^{-1}$. Estes valores estão muito próximos da densidade e velocidade do som na água, 1.000 kg.m^{-3} e 1.480 m.s^{-1} , respectivamente.

Para a situação de meios ar e água, o cálculo do α_t é calculado através da Equação 14 e a PTS através da Equação 32, assim tem-se:

$$\alpha_t = \frac{4\rho_1 c_1 \rho_2 c_2}{(\rho_2 c_2 + \rho_1 c_1)^2}$$

Onde:

α_t : Coeficiente de transmissão acústica, adimensional,
 ρ_1 : densidade do Meio 1 (ar), $1,204 \text{ kg.m}^{-3}$
 c_1 : velocidade do som no Meio 1 (ar), 345 m.s^{-1}
 ρ_2 : densidade do Meio 2 (água), 1.000 kg.m^{-3}
 c_2 : velocidade do som no Meio 2 (água), 1480 m.s^{-1}

Para esta analogia (Ar/Água), tem-se o valor do α_t de:

$$\alpha_t = 0,00112$$

A PTS é calculada para o ar/água será:

$$PTS = 10 \log \frac{1}{\alpha_t}$$

$$PTS = 29,5 \text{ dB}$$

Com o valor de PTS de 29,5 dB, para os meios ar e água, assemelha-se com a situação Ar/PA/LiqAmn. Portanto, os meios: ar, parede abdominal e líquido amniótico, têm-se o mesmo comportamento de atenuação acústica.

É importante ressaltar que os valores obtidos nas simulação em 3D para frequência de 16 kHz, são referentes às médias dos valores extraídos das leituras dos nós que compunham a malha para as espessuras de PA (Menor: 4.634 nós; Média: 2.654 nós e Maior: 1.050). O valor mais baixo de perda de transmissão sonora correspondente a frequência de 16 kHz, está associada a propagação da onda pelo meio. Na condição espacial 2D, a propagação da onda pelo meio é paralela. Na condição espacial 3D, a propagação da onda pelo meio converge para uma região no meio como ilustrada na .

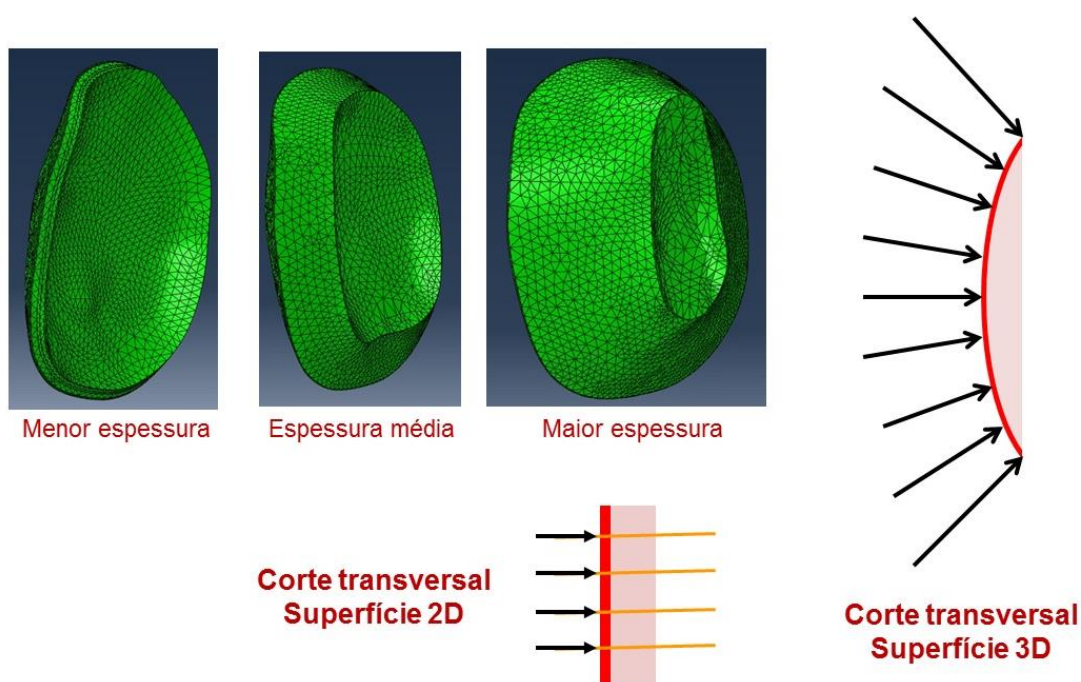


Figura 64: Propagação da onda pelo meio.

A Figura 65 apresenta a verificação do valor PTS, através da leitura na linha traçada. Análise aponta que para os nós localizados na central da figura espacial, os valores de PTS diminuem. A diminuição está relacionada à convergência do fluxo direcional da onda incidente, aplicada sobre a superfície da pele, para o centro da PA. Na menor espessura observa-se a influência da região do umbigo, onde verifica-se a ocorrência de reverberação na cavidade umbilical. Na região umbilical verifica-se um incremento da PTS, representados pelos valores negativos. Os valores negativos influenciaram e reduziram o valor médio dos valores obtidos de PTS.

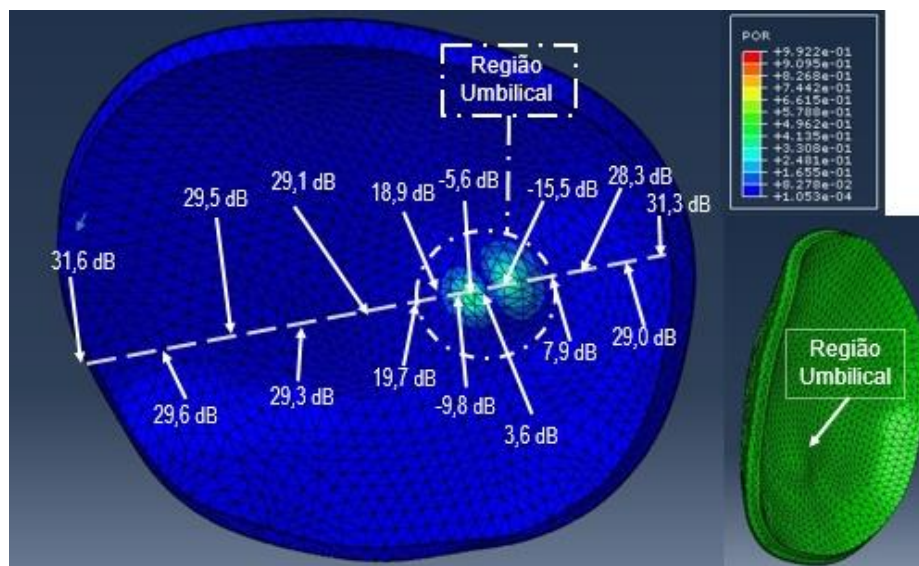


Figura 65: PTS: simulação 3D, menor espessura para a frequência de 16 kHz (parte interna da PA)

Os valores correspondentes às espessuras média e maior tiveram influência não tão expressiva, com relação a menor espessura. A Figura 66 e a Figura 67 mostram o comportamento da PTS quando efetuado a leitura dos valores na parte interna da PA.

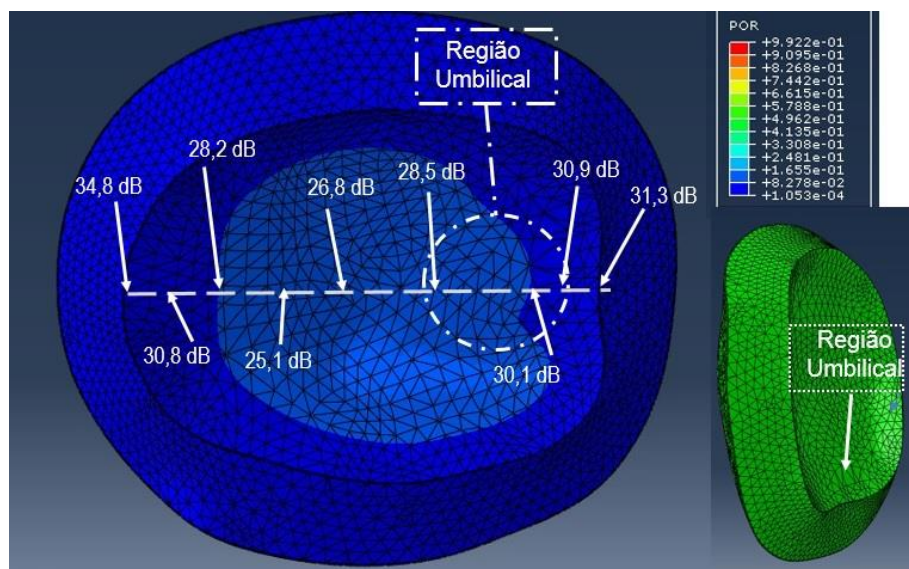


Figura 66: PTS: simulação 3D, espessura média para a frequência de 16 kHz (parte interna da PA)

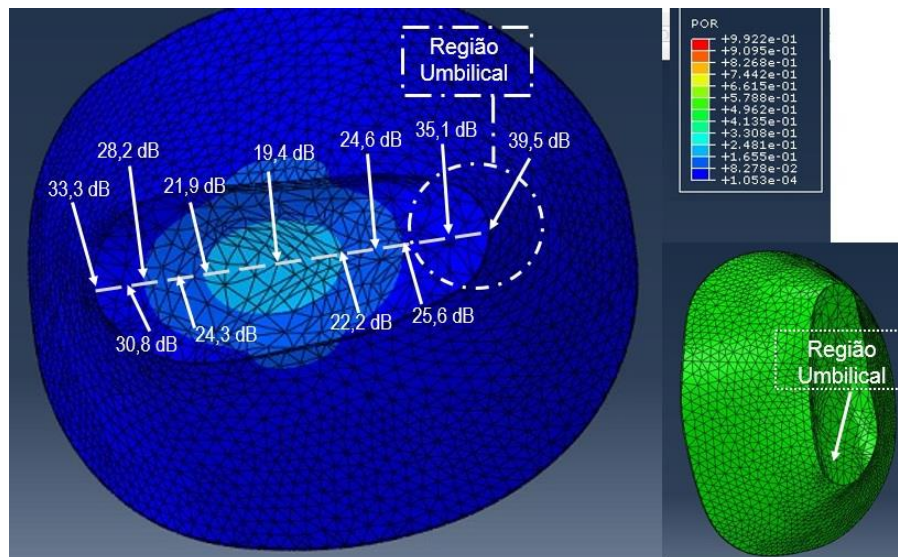


Figura 67: PTS: simulação 3D, maior espessura para a frequência de 16 kHz (parte interna da PA)

Estas verificações mostram a ação do efeito de convergência sobre os valores de PTS apresentados nos gráficos correspondentes as simulações em 3D.

A acentuação da influência no valor médio apresentado em alta frequência, especialmente em 16 kHz, segundo Temkin (2001), nas frequências altas e na menor espessura ocorre menor λ , por conseqüente declínio no coeficiente de transmissão, o que altera a PTS.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de exposição ao ruído de uma mulher grávida foi desenvolvido de acordo com os objetivos específicos traçados e que trouxeram informações importantes dentro do contexto ocupacional.

Nas frequências de banda de oitava de 16 Hz e 16 kHz, e para os níveis de ruído estudos, a capacidade de atenuação da parede abdominal variaram 28,3 a 30,9 dB

A geração de ruído dentro do veículo é um fator relevante, que está registrado na literatura científica, com excelentes trabalhos de pesquisadores e com avanços importantes na busca de inovações tecnológicas, através dos grupos de estudos ligados a engenharia acústica e outros profissionais de outras áreas, como mencionados por Gomez et al. (2012); Genuit (2009), Pereira et al. (2007); Onusic (2001) e WP-NERV (2001).

A preocupação é relevante, no que diz respeito também, a saúde ocupacional, não apenas no contexto da melhoria do conforto acústico dos automóveis, mas também para avaliar o risco à saúde dos passageiros. Nos habitáculos não chegam apenas os ruídos aos ocupantes, mas também há vibração, entre outras fontes de agressão à saúde, como passar longos períodos sentados na mesma posição (Kindt et al. 2009; Genuit 2009).

A contribuição do pavimento para a geração de ruído interno, vem da conjugação de fatores como: manutenção do pavimento, o tipo de pneu, velocidade de percurso dos veículos. A área da engenharia acústica veicular também tem avanços, que contribuem para as multivariadas de pneus utilizados em diversas finalidades (Kim, Kim, e Lee 2007). As questões acabam por contribuir no conjunto e ações precisam ser priorizadas, para que as melhorias estruturais na rodovia, por exemplo, ganhem resultados no foco do problema aqui levantado (Pereira et al. 2007).

Agora, passa-se a discussão sobre os métodos utilizados para avaliar a perda de transmissão sonora na parede abdominal. A aplicação fez uso de ferramentas de cálculo com base analítica e com apoio computacional. O analítico, apresentou-se com algumas condições de contorno, mas que são justificadas dentro dos fenômenos físicos que ocorrem quando uma onda sonora incidente passa por um meio. A distância que a onda percorre e a frequência influenciam, pela geração de ondas de flexão que promovem maior amortecimento da energia proporcional ao comprimento de onda (Temkin 2001).

Mas, estes efeitos também foram comprovados nas simulações em 2D e em 3D. No tocante a dimensão espacial a que o modelo MEF foi submetido, promoveu maior variação nas simulações em 3D, as quais estão associadas a área da parede abdominal foi aplicada. Na simulação em 2D, a área correspondeu a uma superfície de 100 cm^2 e na simulação em 3D, a área foi muito superior, 713 cm^2 , por se tratar do escaneamento da barriga em escala real. Isto é, o ângulo de incidência da onda na superfície da pele em 3D foi de 90° , como a superfície da barriga não é retilínea, portanto a maior convergência de direção das ondas e por consequência maior incidência ressonância em alta frequência (Temkin 2001).

Os resultados identificados de perda de transmissão acústica no abdômen de grávidas, permitem afirmar que as ondas sonoras ao passarem pela barreira (parede abdominal), configura a parede abdominal da mulher grávida como um excelente atenuador acústico para o sistema auditivo do feto.

8. CONCLUSÃO

A temática abordada pela presente pesquisa avaliou a perda de transmissão sonora na parede abdominal, dentro do contexto de mulheres grávidas expostas ao ruído em um habitáculo de veículo automóvel. Com esta problemática, planeou-se as estratégias para atingir os objetivos que levaram à avaliação da perda de transmissão no meio proposto. Assim, obteve-se:

- Avaliação do ruído interno no habitáculo do veículo automóvel: no experimento, a amostra apontou que a máxima frequência em que o ruído foi superior a 80 dB foi 125 Hz. O teste de Tukey mostrou que valores inferiores a 80 dB para os níveis de ruído em frequências acima de 125 Hz, para uma velocidade de 50 a 60 km/h e para os pavimentos lajota, paralelo, asfalto e sem pavimentação.
- Espessura da parede abdominal de mulheres grávidas: na literatura não estava disponível esta informação. O objetivo foi ter a espessura das camadas pele, tecido adiposo, músculo abdominal reto, parede uterina e placenta. Como não se obteve esta informação, foi possível busca a informação através de medições das camadas durante a realização dos exames morfológicos ecográficos. Os dados trouxeram incremento logístico dentro do planejamento da pesquisa. Colocou a pesquisa com valores reais. A magnitude da dimensão da parede abdominal criou uma forma gestacional com propriedade, com a realização do escaneamento, que foi aplicada às simulações em MEF, a proporcionar uma integridade real e expansão da verificação da perda de transmissão.
- Modelo analítico: a utilização do método analítico, através de três meios possibilitou a sua utilização fora do habitual de sua aplicação. A aplicação aqui proposta, permitiu avaliar a sua performance para a área da saúde ocupacional.
- Simulações em MEF: a aplicabilidade das simulações e comparadas ao modelo analítico, permitiu avaliar a PTS na parede abdominal e complementar com a comparação dos resultados com a aplicação do método analítico.
- A aplicação dos métodos analítico e MEF permitiu concluir que a perda de transmissão sonora da parede abdominal é de 29,7 dB.
- A avaliação da PTS conclui que a parede abdominal é um excelente atenuador de ondas sonora, principalmente em baixas frequências.

Para dar continuidade a linha de investigação que este trabalho realizou, sugerem-se algumas linhas de investigação para promover contributos a esta área:

- Aplicação da metodologia com outros materiais.
- Promover amostragem com um número maior de veículos, com a consideração da vibração com fator de exposição da mulher grávida.
- Aplicação com amostragem de veículos automóveis de outras categorias, de maior porte, para avaliação da contribuição dos NPS nos habitáculos, por considerar a ocorrência de maior intensidade em baixa frequência.
- Aplicar a metodologia a grupos diferenciados de grávidas, com divisão para critérios de inclusão, como: IMC, período gestacional, idade materna.

REFERÊNCIAS

- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2003. "NBR NM 224: conjunto pneumático - terminologia". *ABNT*:1-14.
- . 2006. *Norma Brasileira NBR 13776: veículos rodoviários automotores, seus rebocados e combinados- Classificação*. ABNT.
- Achyut, C., R. Manoj e R. Ramkumar. 2014. "Effects of trim and trim modeling on in-cab noise". *The 21st International Congress on Sound and Vibration* no. 3:1911-1917.
- Almeida, S. I. C. de, P. L. M. Albernaz, P. A. Zaia, O. G. Xavier e E. H. I. Karazawa. 2000. "Historia natural perda_auditiva ocupacional provocada por ruído". *Rev Ass Med Brasil* no. 46(2):143-58.
- Andrade, Dalton F. e Paulo J. Ogliari. 2010. *Estatística para as ciências agrárias e biológicas: com noções de experimentação*. 2a. edição ed.: Univerdade Federal de Santa Catarina.
- APHA, American Public Health Association, American Water Works Association AWWA e Water Environment Federation WEF. 2012. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. ed.
- Azhari, Haim. 2011. *Basics of biomedical ultrasound for engineers: appendix A*. John Wiley & Sons, Inc.
- Bastos, Maurilia de Almeida, Erasmo Felipe Vergara, Izac Josué Moreira, Rui Manoel S. Araújo, Carla Ramalho e José C. Torres Costa. 2015. "Characterization of vehicle interior noise and pavement road type". *International Symposuim on Occupational Safety and and Hygiene*:26-28.
- Bendokiene, I., R. Grazuleviciene e A. Dedele. 2011. "Risk of hypertension related to road traffic noise among reproductive-age women". *Noise Health* no. 13 (55):371-7. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22122952>.
- Benzaquen, Suzan, Robert Gagnon, Cora Hunse e John Foreman. 1990. "The intrauterine sound environment of the human fetus during labor". *American Journal of Obstetrics and Gynecology* no. 163 (2):184-490.
- Bistafa, Sylvio R. 2011. *Acustica aplicada ao controle do ruido Bistafa*. Editora Blucher.
- Borges, Fábio dos Santos e Ericka Christine Velentin. 2002. "Tratamento da flacidez e diástase do reto-Abdominal no puerpério de parto normal com o uso de eletroestimulação muscular com corrente de média frequência; estudo de caso". *Revista Brasileira de Fisioterapia Dermato-funional* no. 1 (1):1-9.
- Brasil, Ministério do Trabalho e Emprego. 1978. "Portaria n 3214, de 8 de junho 1978 Normas regulamentadoras". *Diário Oficial da União*.
- Bussab, Wilton de Ooliveira e Pedro Alberto Moretin. 2002. *Estática Básica*. Saraiva.
- Chen, S. e D. Wang. 2011. "Car interior noise: sound quality analysis using desing of experiment". *IEEE Vehicular Technology Magazine*:32-34.
- Chen, S., D. Wang, A. Zuo, J. Zan e Y. Sun. 2010. "Design and optimization of vehicle interior sound package.". *International Conference on Computer Design And Appliations* no. 4:30-34.
- Chen, Xin, Xiaohua Geng, Dengfeng Wang e Zhengdong Ma. 2010. "Simulation to control the car interior noise in high frequency using SEA method". *IEEE*:1331-1334.
- Chudleigh, Trush e Basky Thilaganathan. 2004. *Obstetric ultrasound: how, why and when*. 3th ed. ed.
- CONATRAN, Conselho Nacional de Trânsito. 2008. "Resolução 291 de 29 de agosto de 2008: dispõe sobre a concessão de código de marca/modelo/versão para veículo e dá outras providência". *Diário Oficial da União*.
- Croteau, A., S. Marcoux e C. Brisson. 2007. "Work activity in pregnancy, preventive measures, and the risk of preterm delivery". *Am J Epidemiol* no. 166 (8):951-65. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17652310>.

- DENATRAN, Departamento Nacional de Trânsito. 2011. "Portaria n. 1101: classificação de veículos". *Diário Oficial da União*.
- Esposito, R. A. e G. E. Freeman. 2002. "Glazing for vehicle interior noise reduction". *Journal of Materials and Manufacturing* no. 111 (5):802-810.
- Filardi, João Batista Carvalho. 2003. "Predição por análise estatística energética do ruído interno de um veículo automotor gerado pelo campo sonoro do compartimento do motor", Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica Universidade Federal de Santa Catarina
- Gagnon, Robert, Susan Benzaquen e Cora Hunse. 1992. "The fetal sound environment during vibroacoustic stimulation in labor: effect on fetal rate response". *Obstetrics & Gynecology* no. 79 (6):950-955.
- Genuit, Klaus. 2009. "Vehicle interior noise: combination of sound, vibration and interactivity". *Sound & vibration*:8-12.
- Gerges, Samir N. Y. 2000. *Ruido fundamentos e controle*. NR Editora.
- Giampaoli, Eduardo, Irene Ferreira de Souza Duarte Saad e Irlon de Ângelo da Cunha. 2001. *Norma de Higiene Ocupacional: procedimento técnico - avaliação da exposição ocupacional ao ruído NHO 001* FUNDACENTRO Ministério do Trabalho e Emprego.
- Gomez, Juan, Justin Williams, In Hyouk Song, Yoo Jae Kim, Du Hwan Chun, Deok Ki Kim, Hae Joong Na e Byoung Hee You. 2012. "Analysis of Acoustic Characteristics of a Car Cabin Using Computer-Aided Engineering". *Applied Mechanics and Materials* no. 268-270:883-889.
- Graven, Stanley N. e Joy V. Browne. 2008. "Auditory Development in the Fetus and Infant". *Newborn and Infant Nursing Reviews* no. 8 (4):187-193.
- Haelterman, Edwige, Sylvie Marcoux, Agathe Croteau e Michèle Dramaix. 2007. "Population-based study on occupational risk factors for preeclampsia and gestational hypertension". *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* no. 33 (4):304-317.
- Hartikainen, A. L., M. Sorri, H. Anttonen, R. Tuimala e E. Laara. 1994. "Effect of occupational noise on the course and outcome of pregnancy". *Scandinavian Journal of Work, Environment & Health* no. 20 (6):444-450.
- Hawkins, J. E. 2004. "Sketches of otohistory. Part 1: otoprehistory: how it all began". *Audiol Neurotol* no. 9 (2):66-71. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14981354>.
- Hawkins, J. E. e J. Schacht. 2005. "Sketches of otohistory. Part 10: noise-induced hearing loss". *Audiol Neurotol* no. 10 (6):305-9. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16103641>.
- Hosseini Fouladi, Mohammad, Mohd Jailani Mohd Nor e Ahmad Kamal Ariffin. 2009. "Spectral analysis methods for vehicle interior vibro-acoustics identification". *Mechanical Systems and Signal Processing* no. 23 (2):489-500.
- Ju, Chuanxi e Sung Yoo. 2009. "An investigation and validation of tailpipe noise contribution to vehicle cabin via transfer path analysis concept". *SAE International*.
- Kim, Byoung Sam, Gi Jeon Kim e Tae Keun Lee. 2007. "The identification of tyre induced vehicle interior noise". *Applied Acoustics* no. 68 (1):134-156.
- Kindt, P., D. Berckmans, F. De Coninck, P. Sas e W. Desmet. 2009. "Experimental analysis of the structure-borne tyre/road noise due to road discontinuities". *Mechanical Systems and Signal Processing* no. 23 (8):2557-2574.
- Kinsler, Lawrence E e Austin R. Frey. 1962. *Fundamentals of acoustics*. John Wiley & Sons, Inc.
- Leite, Ana Cristina da Nóbrega Marinho Torres e Kathlyn Kamoly Barbosa Cavalcanti Araújo. 2012. "Diástase dos retos abdominais em puérperas e sua relação em variáveis obstétricas". *Fisioter Mov.* no. 25 (2):389-97.
- Li, Zhong-xing, Guang-ping Wang, Shen-xu Wang e Hong Jiang. 2011. "Vehicle interior noise measurement and analysis". *Key Engineering Materials* no. 467-469:1072-177.
- Liberati, A., D. G. Altman, J. Tetzlaff, C. Mulrow, P. C. Gotzsche, J. P. Ioannidis, M. Clarke, P. J. Devereaux, J. Kleijnen e D. Moher. 2009. "The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate healthcare interventions: explanation and elaboration". *BMJ* no. 339:b2700. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19622552>.
- Magann, E. F., S. F. Evans, S. P. Chauhan, T.E. Nolan, J. Henderson, J. H. Klausen, J. P. Newnham e J. C. Morrison. 2005. "The effects of standing, lifting and noise exposure on

- preterm birth, growth restriction, and perinatal death in healthy low-risk working military women". *J Matern Fetal Neonatal Med.* no. 18 (3):155-62.
- Maia, Paulo Alves. 2002. *Estimativa de exposição não continuas a ruídos*. Ministério do Trabalho e Emprego: FUNDACENTRO.
- Marzbanrad, J. e M. Alahyari Beyg. 2012. "Vehicle cabin noise simulation due to high-frequencies stimulation. International Journal of Automotive Engineering". *International Journal of Automotive Engineering* no. 2 (2):117-123.
- Metidieri, M. M., H. F. Rodrigues, F. J. Filho, D. P. Ferraz, A. F. Neto e S. Torres. 2013. "Noise-Induced Hearing Loss (NIHL): literature review with a focus on occupational medicine". *Int Arch Otorhinolaryngol* no. 17 (2):208-12. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25992015>.
- Muhamad, Wan Zuki Azman Wan e Ahmad Kadri Junoh. 2012. "Optimization of noise and vibration in passenger car cabin". *IEEE Colloquium on Humanities, Science & Engineering Research*.
- Nero, Ulisses Del, Marilza Vieira Cunha Rudge¹, Neil Ferreira Novo, Iracema de Mattos Paranhos Calderon e Maria Aparecida Mourão Brasil. 2002. "Metodologia para estudo do volume e densidade absoluta da placenta humana de termo". *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia* no. 24 (10):669-673.
- Neter, John N., W. Wasserman e M. H. Kutner. 1990. *Applied Linear Statistical Models*. 3ª Edição. ed.: Richard D. Irwin Inc.
- Onusic, Helcio. 2001. "A evolução da acústica veicular no Brasil". *Revista da Sociedade Brasileira de Acústica* Acedido a 24 ago. 2014. <ftp://ftp.mecanica.ufu.br/LIVRE/Ricardo/Ac%FAstica/Revistas%20SOBRAC/28.pdf>.
- Paularj, P., A. A. Melvin e S. Yaacob. 2014. "Car cabin interior noise classification using temporal composite features and probabilistic neural network model". *Applied Mechanics and Materials* no. 471:64-68.
- Pereira, Paulo A. A., Jorge C. Pais, Elisabete F. Freitas, Hugo M. D. Silva e Joel R. M. Oliveira. 2007. "A reabilitação da rede rodoviária no século XXI a contribuição da inovação para uma visão global da reabilitação rodoviária". *Engenharia Civil UM* (28):19-36.
- Perrotti, Maria Regina Machado, José Guilherme Cecatti, Milton Bricola Filho e Klever Cursino de Andrade. 1999. "Evolução das características ecográficas da placenta, da posição e da apresentação fetal em gestações normais". *Revista Brasileira de Ginecologia e Obstetrícia*. no. 21 (9):499-504.
- Portugal, Assembleia da República. 2009. "Lei 102, de 10/09/2009: Regime jurídico da promoção da segurança e saúde no trabalho".
- Putner, Jakob, Martin Lohrmann e Hugo Fastl. 2013. "Analysis of the contributions from vehicle cabin surfaces to the interior noise". *Inter noise*:1-8.
- Rebelo, Irene e Belmiro Patrício. 2013. *Líquido amniótico e suas perspectivas clínicas*. Editora Lidel.
- Richards, Douglas S., Kenneth J. Gerhardt, Mary e. McCann e Robert M. Abrams. 1992. "Sound Levels in the Human Uterus". *Obstetrics & Gynecology* no. 80 (2):186-190.
- Rocha, Eduardo Bezerra, Marisa Frasson de Azevedo e João Aragão Ximenes Filho. 2007. "Study of the hearing in children born from pregnant women". *Rev Bras. otorrinolaringol.* no. 73 (3):359-369.
- Salomon, L. J., Z. Alfirevic, V. Berghella, C. Bilardo, E. Hernandez-Andrade, S. L. Johnsen, K. Kalache, K. Y. Leung, G. Malinger, H. Munoz, F. Prefumo, A. Toi, W. Lee e Isuog Clinical Standards Committee. 2011. "Practice guidelines for performance of the routine mid-trimester fetal ultrasound scan". *Ultrasound Obstet Gynecol* no. 37 (1):116-26. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20842655>.
- Soriano, Humberto Lima. 2009. *Elementos finitos: fundamentação e aplicação na estática e dinâmica das estruturas*. Editora Ciência Moderna.
- Spedding, James, Robert Leslie Ellis e Douglas Denon Hearsh. 1900. *The Works of Francis Bacon*. Editora Houghton, Mifflin and Company.
- Temkin, Samuel. 2001. *Elements of acoustics*. John Wiley & Sons Inc.

- Vér, István L. e Leo L. Baranek. 2006. *Noise and vibration control engineering_livro*. John Wiley & Sons, Inc.
- WHO, World Health Organization. 2015. *Hearing loss due to recreational exposure to loud sounds A review*. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.
- WP-NERV, VEHICLES I-IWPONEOR. 2001. *Noise emissions of road vehicles effect of regulations*.
- Wu, Trong-Neng, Li-Jen Chen, Jim-Shoung Lai, Guey-Nu Ko, Chen-Yang Shen e Po-Ya Chang. 1996. "Prospective study of noise exposure during pregnancy on birth weight". *American Journal of Epidemiology* no. 143 (8):792-796.
- Zhang, Xiaojuan, Yan Liu, Zongcai Liu e Bing Yang. 2013. "Study on automobile interior noise characteristic". *Applied Mechanics and Materials* no. 303-306:440-443.
- Zhang, Y., C. Li, X. Jiang, S. Zhang, Y. Wu, B. Liu, P. Tang e N. Mao. 2004. "Human placenta-derived mesenchymal progenitor cells support culture expansion of long-term culture-initiating cells from cord blood CD34+ cells". *Exp Hematol* no. 32 (7):657-64. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15246162>.

APÊNDICES


Apêndice 1

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - DESSO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 1
FORD/Focus Hatch Flex
2011
Calibragem do pneu: 29 psi
78.306 km

ETAPA I: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO

Características dos veículos

CARACTERÍSTICAS		Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo.	
MOTORIZAÇÃO (Conjunto propulsor)	Potência (CV)	109 (G) / 115 (E)	
	Cilindrada	1.6	
	Posição do motor	Transversal	
	Tração	Dianteira	
	Transmissão	Convencional	
DADOS GERAIS	Direção	Assistida	 
	Modelo	2011	
	Ano de Fabrico	2011	
	Marca	FORD	
	Número de portas	5	
	Tipo de bagageiro	Aberto	
	Tipo de revestimento	Bancos	
	Air condicionado	Com	

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - DIAMSSO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 1
FORD/Focus Hatch Flex
2011
Calibragem do pneu: 29 psi
78.306 km

ETAPA 1: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO
Características do Pneu e Suspensão

CARACTERÍSTICAS

Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo.

Marca	Bridgestone
Modelo	Turanza
Dimensão	P205/55R16
Com câmara	—
Sem câmara	X
Índice de velocidade	V (Veloc. Máx 240 km/h)
Índice de carga	91

Pneus

Pressão indicado pelo fabricante do veículo

Sem peso	Dianteira	30 psi (2,07 bar)
	Traseira	30 psi (2,07 bar)
Com peso	Dianteira	35 psi (2,41 bar)
	Traseira	41 psi (2,83 bar)

Uso	Urbano
-----	--------

Espessura do rodado:

7 mm

Suspensão



Traseira	Independente tipo MacPherson, com barra estabilizadora na traseira
Dianteira	Independente do tipo McPherson com barra estabilizadora

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - Demisso
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 2
FIAT/Palio Fire Flex
2005/2006
Calibragem do pneu: 30 psi
61.422 km

ETAPA I: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO

Características dos veículos




CARACTERÍSTICAS		Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo.	
MOTORIZAÇÃO (Conjuntismo propulsor)	Potência (CV)	12,53 kg/cv	
	Cilindrada	1.0	
	Posição do motor	Transversal	
	Tração	Dianteira	
	Transmissão	Convencional	
DADOS GERAIS	Direção	Não assistida	
	Modelo	2006	
	Ano de Fabrico	2005	
	Marca	FIAT	
	Número de portas	3	
	Tipo de bagageiro	Aberto	
	Tipo de revestimento	Bancos	
	Ar condicionado	Sem	

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - DENSSO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 2
FIAT/Palio Fire Flex
2005/2006
Calibragem do pneu: 30 psi
61.422 km

ETAPA I: AVALIAÇÃO DOS RUIDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO

Características do Pneu e Suspensão




CARACTERÍSTICAS				Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo	
Pneus	Marca	Goodyear			
	Modelo	P175/70R13			
	Dimensão	P175/70R13			
	Com câmara	—			
	Sem câmara	X			
	Índice de velocidade	T (Veloc. Máx. 190 km/h)			
	Índice de carga	82			
	Pressão indicada pelo fabricante do veículo				
	Sem peso	Dianteira 28 psi (1,93 bar)			
		Traseira 28 psi (1,93 bar)			
	Com peso	Dianteira 32 psi (2,20 bar)			
		Traseira 32 psi (2,20 bar)			
	Uso	Urbano	Espessura do rodado: 7 mm		
Suspensão	Traseira	Com rodas independentes, braços oscilantes longitudinais e barra estabilizadora; amortecedores hidráulicos, telescópicos de duplo efeito WET; molas helicoidais.			
	Dianteira	Tipo McPherson com rodas independentes, braços oscilantes inferiores transversais, amortecedores hidráulicos, telescópicos de duplo efeito, molas helicoidais.			

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOCTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - Dens80
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 3
Fiat Palio Weekend Trekking Flex
2008/2009
Calibragem do pneu: 28 psi
65.500 km

ETAPA 1: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO

Características dos veículos

CARACTERÍSTICAS		Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo.	
MOTORIZAÇÃO (Conjuntismo propulsor)	Potência (CV)	5P/86CV	
	Cilindrada	1.4	
	Posição do motor	Transversal	
	Tração	Dianteira	
	Transmissão	Convencional	
		Direção	Assistida
DADOS GERAIS	Modelo	2009	 
	Ano de Fabrico	2009	
	Marca	FIAT	
	Número de portas	5	
	Tipo de bagageiro	Aberto	
	Tipo de revestimento	Bancos	
Ar condicionado		Com	

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - DEMSSO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 3
FIAT/Palio Weekend Trekking Flex
2008/2009
Calibragem do pneu: 28 psi
65.500 km

ETAPA I: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO



Características do Pneu e Suspensão

CARACTERÍSTICAS			Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo		
Pneus	Marca	Pirelli	  		
	Modelo	Scorpion			
	Dimensão	P175/70R13			
	Com câmara	P1755/70R14 (Extra load)			
	Sem câmara	X			
Suspensão	Índice de velocidade	H (Veloc. Máx 210 km/h)	  		
	Índice de carga	88			
	Pressão indicado pelo fabricante do veículo				
	Sem peso	Dianteira 28 psi (1,93 bar) Traseira 28 psi (1,93 bar)			
	Com peso	Dianteira 31 psi (2,14 bar) Traseira 36 psi (2,48 bar)			
Uso	Urbano	Espessura do rodado: 6 mm			
	Traseira	Com rodas independentes, braços oscilantes longitudinais e barra estabilizadora, amortecedores hidráulicos, telescópicos de duplo efeito WET, molas helicoidais			
Dianteira	Dianteira	McPherson com rodas independentes, braços oscilantes inferiores transversais, com barra estabilizadora, amortecedores hidráulicos, telescópicos de duplo efeito, molas helicoidais			

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - Dens380
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 4
RENAULT/Fluence Sedan Flex
2013/2014
Calibragem do pneu: 32 psi
9810 km

ETAPA 1: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO
Características dos veículos

CARACTERÍSTICAS		Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo.	
MOTORIZAÇÃO (Conjunto propulsor)	Potência (CV)	143/6000	
	Cilindrada	2.0	
	Posição do motor	Transversal	
	Tração	Dianteira	
	Transmissão	Automática	
DADOS GERAIS	Direção	Assistida	
	Modelo	2014	
	Ano de Fabrico	2013	
	Marca	RENAULT	
	Número de portas	5	
	Tipo de bagageiro	Aberto	
	Tipo de revestimento	Bancos	
	Ar condicionado	Com	

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - DenssO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 4
RENAULT/Fluence Sedan Flex
2013/2014
Calibragem do pneu: 32 psi
9810 km

ETAPA 1: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO
Características do Pneu e Suspensão

Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo.

CARACTERÍSTICAS											
Pneus	<table><tr><td>Marca</td><td>Continental</td></tr><tr><td>Modelo</td><td>Conti PremiumContact 2</td></tr><tr><td>Dimensão</td><td>P205/55R17</td></tr><tr><td>Com câmara</td><td>-----</td></tr><tr><td>Sem câmara</td><td>X</td></tr></table>	Marca	Continental	Modelo	Conti PremiumContact 2	Dimensão	P205/55R17	Com câmara	-----	Sem câmara	X
	Marca	Continental									
	Modelo	Conti PremiumContact 2									
	Dimensão	P205/55R17									
	Com câmara	-----									
Sem câmara	X										
	<table><tr><td>Índice de velocidade</td><td>V (Veloc Máx 240 km/h)</td></tr><tr><td>Índice de carga</td><td>91</td></tr></table>	Índice de velocidade	V (Veloc Máx 240 km/h)	Índice de carga	91						
Índice de velocidade	V (Veloc Máx 240 km/h)										
Índice de carga	91										
	Pressão indicado pelo fabricante do veículo										
	<table><tr><td>Sem peso</td><td>Dianteira 33 psi (2,28 bar)</td></tr><tr><td></td><td>Traseira 31 psi (2,14 bar)</td></tr><tr><td>Com peso</td><td>Dianteira 33 psi (2,28 bar)</td></tr><tr><td></td><td>Traseira 31 psi (2,14 bar)</td></tr></table>	Sem peso	Dianteira 33 psi (2,28 bar)		Traseira 31 psi (2,14 bar)	Com peso	Dianteira 33 psi (2,28 bar)		Traseira 31 psi (2,14 bar)		
Sem peso	Dianteira 33 psi (2,28 bar)										
	Traseira 31 psi (2,14 bar)										
Com peso	Dianteira 33 psi (2,28 bar)										
	Traseira 31 psi (2,14 bar)										
	<table><tr><td>Uso</td><td>Urbano</td></tr><tr><td></td><td>Espessura do rodado: 6 mm</td></tr></table>	Uso	Urbano		Espessura do rodado: 6 mm						
Uso	Urbano										
	Espessura do rodado: 6 mm										
Suspensão	Traseira										
	Dianteira										







FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - Dens80
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 5
KIA/Picanto Flex
2012/2013
Calibragem do pneu: 33 psi
76602 km

ETAPA 1: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO

Características dos veículos

CARACTERÍSTICAS		Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo.	
MOTORIZAÇÃO (Conjunto propulsor)	Potência (CV)	64 a 5,600	
	Cilindrada	1.0	
	Posição do motor	Transversal	
	Tração	Dianteira	
	Transmissão	Convencional	
DADOS GERAIS	Direção	Assistida	
	Modelo	2013	
	Ano de Fabrico	2012	
	Marca	KIA	
	Número de portas	5	
	Tipo de bagageiro	Aberto	
	Tipo de revestimento	Bancos	
	Ar condicionado	Com	



FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO
PROGRAMA DOUTORAL DE SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAIS - DensSO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
LABORATÓRIO DE VIBRAÇÃO E ACÚSTICA - LVA

VEÍCULO 5
KIA/Picanto Flex
2012/2013
Calibragem do pneu: 33 psi
76602 km

ETAPA I: AVALIAÇÃO DOS RUÍDOS NO INTERIOR DO VEÍCULO

Características do Pneu e Suspensão

CARACTERÍSTICAS		Fonte: NBR NM 224 (2003) e manual técnico que acompanha o veículo	
Pneus	Marca	Kumho	
	Modelo	Conti PremiumContact 2	
	Dimensão	Optimo K 406	
	Com câmara	---	
	Sem câmara	X	
	Índice de velocidade	H (Veloc Máx 210 km/h)	
	Índice de carga	75	
	Pressão indicado pelo fabricante do veículo		
	Sem peso	Dianteira 31 psi (2,14 bar)	
	Com peso	Traseira 33 psi (2,28 bar)	
Suspensão	Uso	Dianteira 33 psi (2,28 bar)	
		Traseira 33 psi (2,28 bar)	
	Espessura do rodado: 6 mm		
	Traseira	Eixo de torção, molas helicoidais e amortecedores a gás.	
	Dianteira	Tipo McPherson, independente, molas helicoidais e amortecedores a gás.	





Apêndice 2

Apêndice 2

Nível equivalente global para os pavimentos **Lajota** e **Paralelo**, em comparação aos veículos (em 1/3 oitava). Dados registados em campo.

Frequência (Hz)	Leq [dB] para os pavimentos									
	Lajota					Paralelo				
	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
12,5	85,7	87,2	95,6	95,9	90,1	91,9	91,9	98,7	100,8	92,6
16	87,9	90,2	98,7	96,5	87,9	96,6	96,6	100,2	96,7	90,0
20	95,1	95,0	97,6	95,6	88,5	101,9	101,9	99,6	98,3	88,9
25	97,1	96,8	101,4	97,3	94,4	102,6	102,6	103,4	100,5	97,4
31,5	93,3	96,5	101,0	92,5	98,0	101,5	101,5	103,8	95,7	102,9
40	91,5	91,8	99,6	91,7	94,9	94,5	94,5	103,1	94,6	98,2
50	90,8	98,2	100,1	92,1	92,9	99,1	99,1	103,6	96,5	94,2
63	84,0	97,5	87,9	87,6	89,3	100,4	100,4	91,1	90,4	92,2
80	85,4	82,3	82,8	84,4	82,3	87,0	87,0	88,2	87,5	85,0
100	83,7	85,5	83,9	82,9	84,3	91,1	91,1	89,7	88,2	88,0
125	86,5	85,2	82,7	81,5	85,4	87,5	87,5	86,1	88,3	89,2
160	79,8	78,9	75,7	75,3	80,7	81,4	81,4	81,4	79,7	84,7
200	73,6	76,8	72,5	69,6	74,3	80,7	80,7	75,9	74,7	79,5
250	66,6	71,6	69,3	63,8	66,8	74,2	74,2	73,0	68,4	69,5
315	63,4	69,5	66,0	59,7	65,6	71,7	71,7	69,0	64,5	68,8
400	65,7	63,3	60,2	58,0	64,9	66,6	66,6	64,5	63,2	67,8
500	61,4	59,8	58,9	55,5	59,4	64,1	64,1	63,0	62,1	62,4
630	58,2	56,8	58,0	53,7	58,0	61,6	61,6	63,0	61,2	61,7
800	54,3	55,3	55,6	54,0	54,6	59,5	59,5	60,6	58,6	56,4
1000	49,5	54,0	53,8	51,7	51,7	58,1	58,1	59,3	55,5	54,1
1250	44,8	50,4	50,6	47,2	49,0	55,0	55,0	57,1	51,5	49,6
1600	41,3	47,6	47,7	45,1	47,5	53,7	53,7	56,0	50,6	49,2
2000	38,1	45,8	47,3	43,2	45,7	51,6	51,6	54,2	47,2	46,1
2500	36,6	44,1	46,0	41,5	44,0	50,1	50,1	54,0	46,5	45,3
3150	35,8	42,7	43,7	40,9	42,5	49,0	49,0	52,8	44,8	43,2
4000	35,9	42,5	41,7	40,4	41,1	48,8	48,8	49,5	42,6	42,3
5000	36,2	43,7	40,3	37,1	39,8	48,3	48,3	47,6	40,0	41,5
6300	37,0	41,8	38,0	37,2	39,1	46,4	46,4	44,4	39,4	41,3
8000	37,8	39,1	37,3	36,7	38,7	43,3	43,3	41,9	37,7	41,6
10000	38,8	38,8	37,8	37,1	38,7	42,3	42,3	41,3	38,0	42,4
12500	40,0	38,8	39,9	37,7	39,0	41,0	41,0	42,8	38,4	43,0
16000	41,0	39,0	40,9	38,7	39,8	40,5	40,5	41,1	39,3	44,1
20000	43,4	41,8	42,6	41,8	42,4	42,4	42,4	43,5	42,2	45,9

Nível equivalente global para os pavimentos **Asfalto** e **Sem pavimento**, em comparação aos veículos (em 1/3 oitava). Dados registados em campo.

Frequência (Hz)	Leq [dB] para os pavimentos									
	Asfalto					Sem pavimento				
	V1	V2	V3	V4	V5	V1	V2	V3	V4	V5
12,5	80,8	78,7	83,4	87,0	76,3	91,3	80,8	100,3	87,0	89,6
16	79,7	78,7	86,0	85,5	75,9	90,4	79,7	98,7	85,5	87,4
20	88,0	82,0	84,1	84,4	77,7	93,6	88,0	99,9	84,4	90,5
25	93,0	87,5	89,9	91,8	82,2	97,6	93,0	103,5	91,8	98,8
31,5	88,3	89,9	91,4	85,1	86,8	98,9	88,3	102,3	85,1	103,2
40	80,8	86,9	87,4	80,1	85,7	92,6	80,8	102,5	80,1	99,6
50	81,3	84,6	88,1	82,5	87,9	96,0	81,3	103,9	82,5	95,0
63	76,9	86,2	77,7	77,5	79,5	97,2	76,9	91,9	77,5	90,5
80	76,9	78,7	71,8	73,6	73,3	83,0	76,9	86,3	73,6	83,5
100	76,3	77,1	76,6	72,9	74,0	86,2	76,3	87,4	72,9	86,8
125	79,6	77,3	74,7	76,9	76,3	85,3	79,6	85,0	76,9	87,4
160	74,0	74,2	72,7	68,8	71,7	79,4	74,0	79,3	68,8	81,7
200	68,8	77,8	69,5	64,1	68,5	78,9	68,8	74,5	64,1	75,9
250	64,6	70,8	67,9	59,2	62,3	71,3	64,6	70,9	59,2	68,3
315	61,8	69,5	66,3	56,7	62,3	69,3	61,8	67,4	56,7	66,0
400	63,7	60,7	56,4	56,4	61,9	63,4	63,7	63,1	56,4	65,5
500	60,2	58,4	56,4	54,1	56,5	60,2	60,2	60,9	54,1	59,4
630	58,2	57,1	55,5	51,9	54,0	58,7	58,2	61,8	51,9	57,7
800	53,6	53,3	55,8	51,4	50,0	56,4	53,6	59,6	51,4	55,6
1000	52,3	51,7	51,2	52,0	47,2	55,0	52,3	58,4	52,0	53,2
1250	47,2	50,2	48,8	47,3	45,8	51,7	47,2	56,6	47,3	50,6
1600	41,9	45,0	44,1	40,6	42,8	50,6	41,9	55,5	40,6	50,6
2000	37,6	41,9	39,3	36,1	38,9	48,4	37,6	54,1	36,1	48,4
2500	36,0	37,8	35,3	33,6	36,4	47,7	36,0	52,5	33,6	47,4
3150	35,6	35,9	33,8	32,4	34,2	45,9	35,6	52,7	32,4	46,6
4000	36,0	36,0	33,1	32,2	32,8	45,5	36,0	50,5	32,2	44,9
5000	36,0	36,0	32,7	32,3	32,1	45,8	36,0	47,8	32,3	43,1
6300	36,6	36,7	33,2	32,9	32,4	44,3	36,6	45,8	32,9	41,6
8000	37,4	37,6	34,0	33,6	33,1	41,3	37,4	43,7	33,6	40,6
10000	38,4	38,6	35,1	34,7	33,9	40,6	38,4	43,9	34,7	39,9
12500	39,4	39,6	36,1	35,7	34,9	40,0	39,4	49,0	35,7	39,5
16000	40,6	40,8	37,4	37,0	36,1	39,7	40,6	51,1	37,0	39,9
20000	42,8	42,9	40,6	40,2	39,4	41,9	42,8	48,0	40,2	42,6

Apêndice 3

Dados gerais da amostra de mulheres grávidas. Dados registados em campo.

Pacientes	Peso (kg)	Altura (m)	IMC	Idade (anos)	Idade gestacional	Posição Placenta	Distância da pele (face externa) até orelha externa (mm)
1 (A)	81	1,65	29,8	27	21 semanas e 1 dia	Posterior	36,3
2 (B)	63	1,65	23,1	16	23 semanas	Posterior	33,5
3 (C)	68	1,64	25,3	18	25 semanas	Anterior	39,0
4 (A)	61	1,60	23,8	23	22 semanas	Posterior	☺
5(A)	63	1,65	23,1	39	22 semanas e 4 dias	Posterior	36,0
6(A)	45	1,60	17,6	24	21 semanas e 3 dias	Anterior	42,0
7 (D)	60	1,60	23,4	20	23 semanas e 3 dias	Anterior	58,4
8(A)	67	1,65	24,6	24	22 semanas e 2 dias	Anterior	44,3
9(A)	68	1,50	30,2	21	24 semanas	Posterior	46,2
10(E)	82	1,60	32,0	28	22 semanas e 4 dias	Posterior	49,7
11(E)	73,0	1,71	25,0	34	24 semanas	Anterior	35,3
12(A)	75	1,63	28,2	36	22 semanas	Anterior	54,7
13(A)	58	1,63	21,8	33	23 semanas	Posterior	46,0
14(E)	69	1,53	29,5	25	24 semanas e 2 dias	Posterior	33,6
15(A)	90	1,70	31,1	28	23 semanas	Anterior	52,3
16(A)	69,5	1,57	28,2	39	22 semanas e 1 dia	Anterior	40,7
17(A)	70	1,65	25,7	37	24 semanas	Anterior	41,6
18(F)	58	1,57	23,5	26	23 semanas	Posterior	36,4
19(F)	55	1,58	22,0	23	23 semanas e 4 dias	Posterior	32,0
20(A)	52	1,60	20,3	18	24 semanas e 6 dias	Posterior	22,9
21(F)	50	1,65	18,4	18	19 semanas	Posterior	29,0
22(F)	68	1,65	25,0	30	22 semanas	Posterior	40,7
23(F)	64	1,70	22,1	32	22 semanas e 3 dias	Posterior	42,7
24(F)	53	1,50	23,6	18	22 semanas e 3 dias	Fúndica	48,1
25(D)	57	1,55	23,7	27	24 semanas	Anterior	31,9
26(B)	78	1,65	28,7	36	22 semanas	Posterior	47,6
27(E)	71	1,63	26,7	22	23 semanas e 4 dias	Posterior	54,7
28(D)	59	1,63	22,2	22	22 semanas	Posterior	30,5
29(B)	64	1,68	22,7	22	22 semanas e 4 dias	Posterior	34,1
30(E)	105	1,69	36,8	22	23 semanas e 5 dias	Anterior	56,0
31(A)	72	1,7	24,9	31	22 semanas	Anterior	52,1
32(G)	79	1,64	29,4	24	22 semanas	Posterior	36,3
33(A)	73	1,65	26,8	27	22 semanas e 6 dias	Posterior	36,9
34(D)	70	1,69	24,5	25	23 semanas e 6 dias	Anterior	28,0
35(D)	70	1,5	31,1	37	23 semanas	Fúndica	36,3

Legenda: IMC: Índice de Massa Corporal. ☺: feto encostado no útero.

Posição do feto:

- (A) Feto longitudinal, cefálico e dorso anterior
 (B) Feto longitudinal cefálico dorso à esquerda
 (C) Feto estava longitudinal cefálico dorso à direita
 (D) Feto longitudinal cefálico dorso variado
 (E) Feto cefálico dorso posterior
 (F) Pélvico dorso variável

- (G) Pélvico dorso anterior

Placenta fúndica: é aquela que se encontra situada ao fundo do útero. Não é nenhum problema, simplesmente a placenta está localizada no fundo do útero (Perrotti et al. 1999)

Dados das espessuras das camadas da parede abdominal de mulheres grávidas. Registrados de campo.

Paciente	Espessuras (mm)											
	Supra umbilical						Infra umbilical					
	Pele	Tecido adiposo	Músculo abdominal	Parede Uterina	Placenta anterior	Líquido amniótico	Pele	Tecido adiposo	Músculo abdominal	Parede Uterina	Placenta anterior	Líquido amniótico
1 (A)	2,9	13,9	5,5	6,7	--	22,5	3,6	18,5	6,3	6,3	--	29,6
2 (B)	3,0	11,0	4,4	4,9	--	55,8	3,3	10,4	2,2	4,1	--	32,8
3 (C)	1,7	9,8	4,4	16,0	29,0	40,0	1,7	12,6	6,3	12,2	28,2	20,0
4 (A)	2,9	7,2	3,8	4,0	--	34,5	2,6	11,8	6,6	5,8	--	J
5(A)	2,6	22,2	5,5	3,7	---	52,4	2,4	13,3	4,8	3,1	---	7,2
6(A)	1,5	4,9	2,9	4,0	32,2	9,3	1,5	5,2	2,6	3,8	43,0	18,0
7 (D)	2,1	9,7	5,5	6,3	30,7	☺	3,0	12,7	5,5	8,8	34,1	28,6
8(A)	2,2	14,0	3,8	5,8	13,0	9,6	2,0	15,7	6,3	4,5	23,9	33,9
9(A)	1,4	16,7	3,1	8,2	--	31,8	2,4	17,1	4,1	6,9	40,0	---
10(E)	2,2	12,5	8,5	5,2	--	37,2	2,9	16,6	5,5	5,9	--	13,2
11(E)	1,8	11,6	3,2	4,4	14,7	---	2,0	13,3	5,8	5,5	14,7	47,4
12(A)	1,7	14,7	4,8	3,5	21,2	35,5	2,5	17,4	5,5	5,5	16,4	(*)
13(A)	1,7	11,0	5,4	3,2	--	44,5	2,2	12,6	5,7	5,4	--	56,7
14(E)	5,1	10,7	6,7	5,1	--	---	2,8	16,2	10,3	5,5	--	---
15(A)	2,4	14,7	4,5	5,5	18,9	---	1,1	15,1	4,6	5,5	16,7	---
16(A)	2,6	11,0	3,0	6,5	--	51,8	2,0	18,2	6,1	6,9	31,5	27,3
17(A)	3,2	14,5	3,5	4,7	13,2	34,4	2,6	14,5	5,7	4,4	11,1	32,4
18(F)	2,5	12,3	6,7	5,4	----	24,6	1,3	17,7	7,0	3,4	--	38,3
19(F)	2,1	12,7	5,0	6,2	--	5,9	2,2	15,9	4,0	9,0	--	51,4
20(A)	1,8	5,2	3,0	6,3	--	30,9	2,6	7,5	3,7	4,8	--	46,7
21(F)	2,1	10,3	3,4	7,2	--	31,1	2,0	10,6	4,8	10,6	--	38,3
22(F)	2,4	11,3	4,5	8,9	--	???	2,1	15,7	7,5	6,2	--	--
23(F)	1,9	13,7	4,4	4,8	--	55,8	2,2	12,6	6,4	8,1	24,4	48,8
24(H)	2,5	12,6	6,3	3,8	--	52,4	1,9	12,9	7,5	5,4	--	63,1
25(D)	2,4	7,6	3,2	8,1	18,4	46,3	1,6	11,3	4,2	6,6	15,2	42,8
26(B)	1,9	21,9	12,3	8,4		36,4	3,3	21,0	9,2	8,1		36,0
27(E)	2,9	18,2	6,0	5,1		11,8	1,7	17,8	5,5	10,9		6,7
28(D)	1,9	12,2	7,3	4,6		20,8	2,3	12,1	6,7	4,3		26,6
29(B)	1,3	8,9	3,4	5,8		26,2	1,9	10,0	3,9	7,4		42,0
30(E)	2,2	27,3	8,2	5,4		12,5	2,8	33,5	9,0	8,1		19,2
31(A)	2,7	15,7	6,8	5,5	16,1	45,8	3,1	18,5	9,3	5,5	17,5	46,2
32(G)	2,0	24,1	5,1	4,3		36,4	3,3	21,0	9,2	8,1		36,0
33(A)	2,0	16,5	6,4	8,4		42,5	1,3	18,9	6,1	9,6		41,6
34(D)	1,8	9,0	3,8	6,4	28,3	29,8	1,5	15,1	4,3	6,1	0,0	0,0
35(H)	2,0	24,1	5,1	4,3		5,9	2,4	26,4	5,9	5,9		0,4
Espessura Média	2,3	13,5	5,1	5,9	21,4	32,5	2,3	15,4	5,9	6,5	22,6	32,1

Legenda: Pele Tecido Adiposo Músculo abdominal reto Parede Uterina Placenta Líquido Amniótico

Observação: Os demais valores destacados na tabela são os maiores e menores valores de cada camada.

(*) na região supra umbilical o feto estava bem próximo a parede nesse local ☺: feto encostado no útero.

Apêndice 4

Análise do número de elementos (NE) por comprimento de onda (λ)

Tamanho mínimo da aresta do elemento (TE)

Formulário:

$$\lambda_{meio} = \frac{c}{f}$$

$$TE = \frac{\lambda_{meio}}{6}$$

$$NE = \frac{\lambda_{meio}}{Malha}$$

Meio ar: $c_{ar}: 345 \text{ m. s}^{-1}$

f [Hz]	TE [m]	λ [m]	Tamanho da aresta do elemento (malha) [m]							
			0,0001	0,001	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,005	0,01
			NE por malha e frequência							
16	3,594	21,563	215625,0	21562,5	8625,0	7187,5	6160,7	5390,6	4312,5	2156,3
32	1,797	10,781	107812,5	10781,3	4312,5	3593,8	3080,4	2695,3	2156,3	1078,1
63	0,913	5,476	54761,9	5476,2	2190,5	1825,4	1564,6	1369,0	1095,2	547,6
125	0,460	2,760	27600,0	2760,0	1104,0	920,0	788,6	690,0	552,0	276,0
250	0,230	1,380	13800,0	1380,0	552,0	460,0	394,3	345,0	276,0	138,0
500	0,115	0,690	6900,0	690,0	276,0	230,0	197,1	172,5	138,0	69,0
1000	0,058	0,345	3450,0	345,0	138,0	115,0	98,6	86,3	69,0	34,5
2000	0,029	0,173	1725,0	172,5	69,0	57,5	49,3	43,1	34,5	17,3
4000	0,014	0,086	862,5	86,3	34,5	28,8	24,6	21,6	17,3	8,6
8000	0,007	0,043	431,3	43,1	17,3	14,4	12,3	10,8	8,6	4,3
16000	0,004	0,022	215,6	21,6	8,6	7,2	6,2	5,4	4,3	2,2

Meio pele: $c_{pele}: 1.730 \text{ m. s}^{-1}$

f [Hz]	TE [m]	λ [m]	Tamanho da aresta do elemento (malha) [m]							
			0,0001	0,001	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,005	0,01
			NE por malha e frequência							
16	18,021	108,125	1081250,0	108125,0	43250,0	36041,7	30892,9	27031,3	21625,0	10812,5
32	9,010	54,063	540625,0	54062,5	21625,0	18020,8	15446,4	13515,6	10812,5	5406,3
63	4,577	27,460	274603,2	27460,3	10984,1	9153,4	7845,8	6865,1	5492,1	2746,0
125	2,307	13,840	138400,0	13840,0	5536,0	4613,3	3954,3	3460,0	2768,0	1384,0
250	1,153	6,920	69200,0	6920,0	2768,0	2306,7	1977,1	1730,0	1384,0	692,0
500	0,577	3,460	34600,0	3460,0	1384,0	1153,3	988,6	865,0	692,0	346,0
1000	0,288	1,730	17300,0	1730,0	692,0	576,7	494,3	432,5	346,0	173,0
2000	0,144	0,865	8650,0	865,0	346,0	288,3	247,1	216,3	173,0	86,5
4000	0,072	0,433	4325,0	432,5	173,0	144,2	123,6	108,1	86,5	43,3
8000	0,036	0,216	2162,5	216,3	86,5	72,1	61,8	54,1	43,3	21,6
16000	0,018	0,108	1081,3	108,1	43,3	36,0	30,9	27,0	21,6	10,8

Análise do número de elementos (NE) por comprimento de onda (λ)**Tamanho mínimo da aresta do elemento (TE)**

Formulário:

$$\lambda_{meio} = \frac{c}{f}$$

$$TE = \frac{\lambda_{meio}}{6}$$

$$NE = \frac{\lambda_{meio}}{Malha}$$

Meio Tecido Adiposo: $c_{ar}: 1.450 \text{ m. s}^{-1}$

			Tamanho da aresta do elemento (malha) [m]							
f [Hz]	TE [m]	λ [m]	0,0001	0,001	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,005	0,01
NE por malha e frequência										
16	15,104	90,625	906250,0	90625,0	36250,0	30208,3	25892,9	22656,3	18125,0	9062,5
32	7,552	45,313	453125,0	45312,5	18125,0	15104,2	12946,4	11328,1	9062,5	4531,3
63	3,836	23,016	230158,7	23015,9	9206,3	7672,0	6576,0	5754,0	4603,2	2301,6
125	1,933	11,600	116000,0	11600,0	4640,0	3866,7	3314,3	2900,0	2320,0	1160,0
250	0,967	5,800	58000,0	5800,0	2320,0	1933,3	1657,1	1450,0	1160,0	580,0
500	0,483	2,900	29000,0	2900,0	1160,0	966,7	828,6	725,0	580,0	290,0
1000	0,242	1,450	14500,0	1450,0	580,0	483,3	414,3	362,5	290,0	145,0
2000	0,121	0,725	7250,0	725,0	290,0	241,7	207,1	181,3	145,0	72,5
4000	0,060	0,363	3625,0	362,5	145,0	120,8	103,6	90,6	72,5	36,3
8000	0,030	0,181	1812,5	181,3	72,5	60,4	51,8	45,3	36,3	18,1
16000	0,015	0,091	906,3	90,6	36,3	30,2	25,9	22,7	18,1	9,1

Meio Músculo Abdominal Reto: $c_{pele}: 1.575 \text{ m. s}^{-1}$

			Tamanho da aresta do elemento (malha) [m]							
f [Hz]	TE [m]	λ [m]	0,0001	0,001	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,005	0,01
NE por malha e frequência										
16	16,406	98,438	984375,0	98437,5	39375,0	32812,5	28125,0	24609,4	19687,5	9843,8
32	8,203	49,219	492187,5	49218,8	19687,5	16406,3	14062,5	12304,7	9843,8	4921,9
63	4,167	25,000	250000,0	25000,0	10000,0	8333,3	7142,9	6250,0	5000,0	2500,0
125	2,100	12,600	126000,0	12600,0	5040,0	4200,0	3600,0	3150,0	2520,0	1260,0
250	1,050	6,300	63000,0	6300,0	2520,0	2100,0	1800,0	1575,0	1260,0	630,0
500	0,525	3,150	31500,0	3150,0	1260,0	1050,0	900,0	787,5	630,0	315,0
1000	0,263	1,575	15750,0	1575,0	630,0	525,0	450,0	393,8	315,0	157,5
2000	0,131	0,788	7875,0	787,5	315,0	262,5	225,0	196,9	157,5	78,8
4000	0,066	0,394	3937,5	393,8	157,5	131,3	112,5	98,4	78,8	39,4
8000	0,033	0,197	1968,8	196,9	78,8	65,6	56,3	49,2	39,4	19,7
16000	0,016	0,098	984,4	98,4	39,4	32,8	28,1	24,6	19,7	9,8

Análise do número de elementos (NE) por comprimento de onda (λ)**Tamanho mínimo da aresta do elemento (TE)**

Formulário:

$$\lambda_{meio} = \frac{c}{f}$$

$$TE = \frac{\lambda_{meio}}{6}$$

$$NE = \frac{\lambda_{meio}}{Malha}$$

Meio Parede Uterina: $c_{ar}: 1.575 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

f [Hz]	TE [m]	λ [m]	Tamanho da aresta do elemento (malha) [m]							
			0,0001	0,001	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,005	0,01
			NE por malha e frequência							
16	16,406	98,438	984375,0	98437,5	39375,0	32812,5	28125,0	24609,4	19687,5	9843,8
32	8,203	49,219	492187,5	49218,8	19687,5	16406,3	14062,5	12304,7	9843,8	4921,9
63	4,167	25,000	250000,0	25000,0	10000,0	8333,3	7142,9	6250,0	5000,0	2500,0
125	2,100	12,600	126000,0	12600,0	5040,0	4200,0	3600,0	3150,0	2520,0	1260,0
250	1,050	6,300	63000,0	6300,0	2520,0	2100,0	1800,0	1575,0	1260,0	630,0
500	0,525	3,150	31500,0	3150,0	1260,0	1050,0	900,0	787,5	630,0	315,0
1000	0,263	1,575	15750,0	1575,0	630,0	525,0	450,0	393,8	315,0	157,5
2000	0,131	0,788	7875,0	787,5	315,0	262,5	225,0	196,9	157,5	78,8
4000	0,066	0,394	3937,5	393,8	157,5	131,3	112,5	98,4	78,8	39,4
8000	0,033	0,197	1968,8	196,9	78,8	65,6	56,3	49,2	39,4	19,7
16000	0,016	0,098	984,4	98,4	39,4	32,8	28,1	24,6	19,7	9,8

Meio Placenta: $c_{Pele}: 1.575 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

f [Hz]	TE [m]	λ [m]	Tamanho da aresta do elemento (malha) [m]							
			0,0001	0,001	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,005	0,01
			NE por malha e frequência							
16	16,406	98,438	984375,0	98437,5	39375,0	32812,5	28125,0	24609,4	19687,5	9843,8
32	8,203	49,219	492187,5	49218,8	19687,5	16406,3	14062,5	12304,7	9843,8	4921,9
63	4,167	25,000	250000,0	25000,0	10000,0	8333,3	7142,9	6250,0	5000,0	2500,0
125	2,100	12,600	126000,0	12600,0	5040,0	4200,0	3600,0	3150,0	2520,0	1260,0
250	1,050	6,300	63000,0	6300,0	2520,0	2100,0	1800,0	1575,0	1260,0	630,0
500	0,525	3,150	31500,0	3150,0	1260,0	1050,0	900,0	787,5	630,0	315,0
1000	0,263	1,575	15750,0	1575,0	630,0	525,0	450,0	393,8	315,0	157,5
2000	0,131	0,788	7875,0	787,5	315,0	262,5	225,0	196,9	157,5	78,8
4000	0,066	0,394	3937,5	393,8	157,5	131,3	112,5	98,4	78,8	39,4
8000	0,033	0,197	1968,8	196,9	78,8	65,6	56,3	49,2	39,4	19,7
16000	0,016	0,098	984,4	98,4	39,4	32,8	28,1	24,6	19,7	9,8

Análise do número de elementos (NE) por comprimento de onda (λ)**Tamanho mínimo da aresta do elemento (TE)**

Formulário:

$$\lambda_{meio} = \frac{c}{f}$$

$$TE = \frac{\lambda_{meio}}{6}$$

$$NE = \frac{\lambda_{meio}}{Malha}$$

Meio Líquido Amniótico: $c_{ar}: 1.527,5 \text{ m.s}^{-1}$

f [Hz]	TE [m]	λ [m]	Tamanho da aresta do elemento (malha) [m]							
			0,0001	0,001	0,0025	0,003	0,0035	0,004	0,005	0,01
			NE por malha e frequência							
16	15,911	95,469	954687,5	95468,8	38187,5	31822,9	27276,8	23867,2	19093,8	9546,9
32	7,956	47,734	477343,8	47734,4	19093,8	15911,5	13638,4	11933,6	9546,9	4773,4
63	4,041	24,246	242460,3	24246,0	9698,4	8082,0	6927,4	6061,5	4849,2	2424,6
125	2,037	12,220	122200,0	12220,0	4888,0	4073,3	3491,4	3055,0	2444,0	1222,0
250	1,018	6,110	61100,0	6110,0	2444,0	2036,7	1745,7	1527,5	1222,0	611,0
500	0,509	3,055	30550,0	3055,0	1222,0	1018,3	872,9	763,8	611,0	305,5
1000	0,255	1,528	15275,0	1527,5	611,0	509,2	436,4	381,9	305,5	152,8
2000	0,127	0,764	7637,5	763,8	305,5	254,6	218,2	190,9	152,8	76,4
4000	0,064	0,382	3818,8	381,9	152,8	127,3	109,1	95,5	76,4	38,2
8000	0,032	0,191	1909,4	190,9	76,4	63,6	54,6	47,7	38,2	19,1
16000	0,016	0,095	954,7	95,5	38,2	31,8	27,3	23,9	19,1	9,5

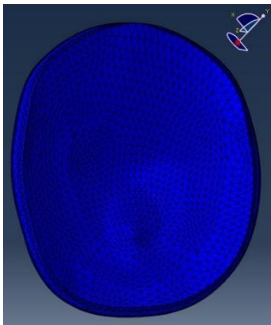
Apêndice 5

Simulação 3D:

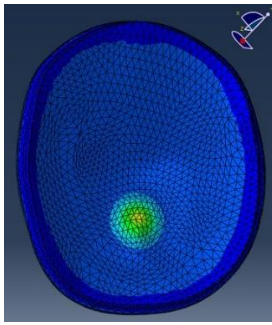
Espessura da PA: Menor

Veículos: V1, V2, V3, V4 e V5

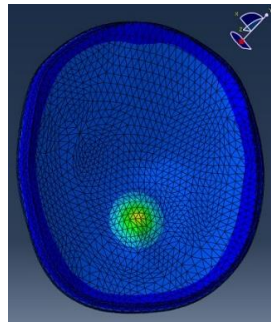
Pavimentos: Lajota, Paralelo, Asfalto e sem pavimento



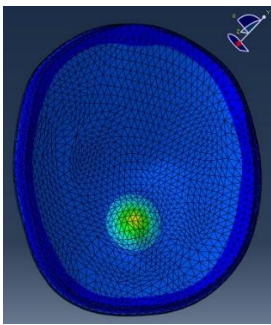
16 Hz



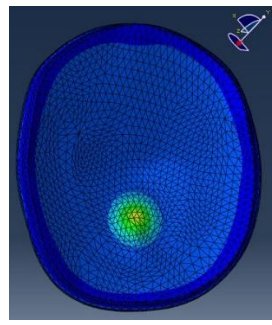
31,5 Hz



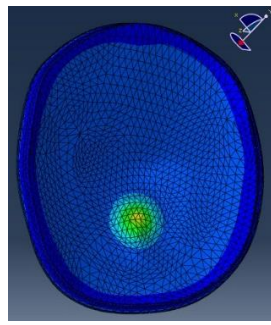
63 Hz



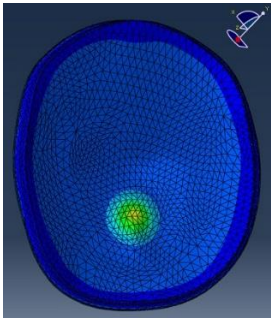
125 Hz



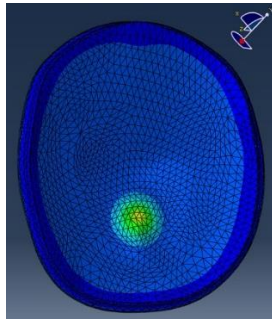
250 Hz



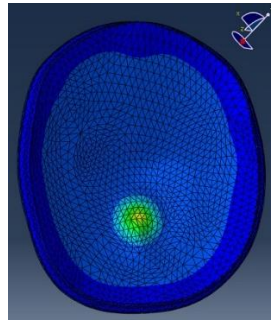
500 Hz



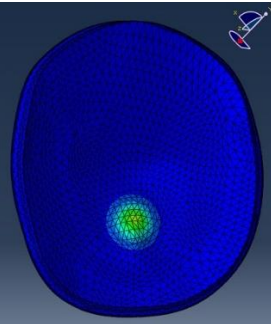
1.000 Hz



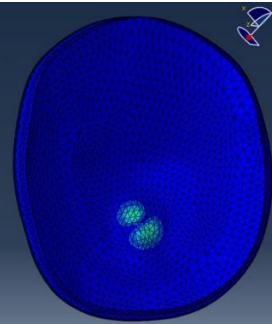
2.000 Hz



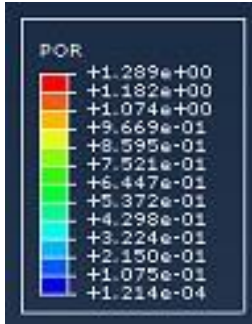
4.000 Hz



8.000 Hz



16.000 Hz



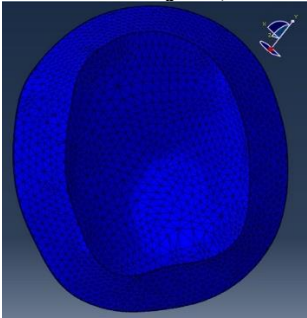
Legenda [Pa]

Simulação 3D:

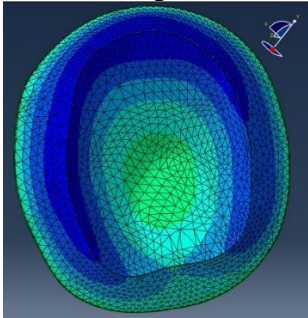
Espessura da PA: Média

Veículos: V1, V2, V3, V4 e V5

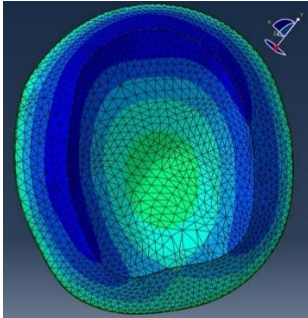
Pavimentos: Lajota, Paralelo, Asfalto e sem pavimento



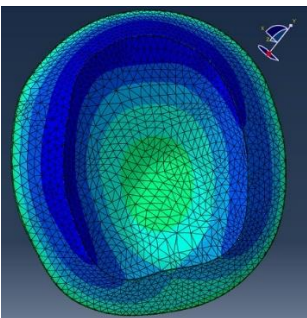
16 Hz



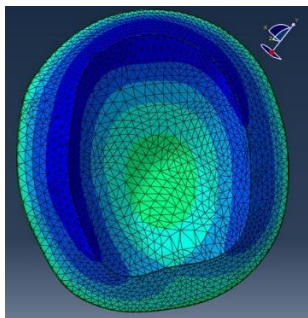
31,5 Hz



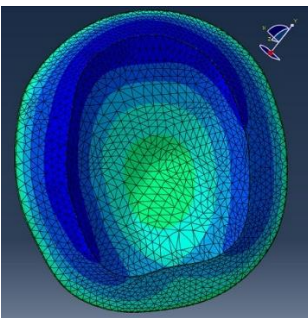
63 Hz



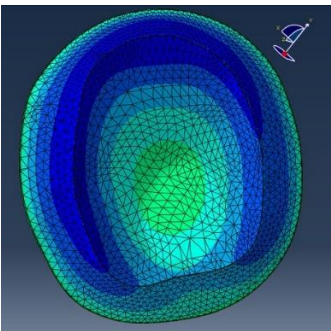
125 Hz



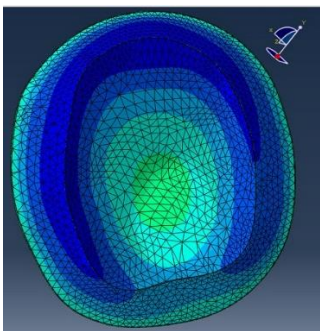
250 Hz



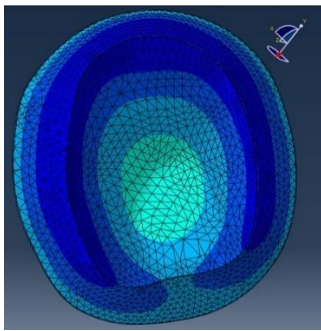
500 Hz



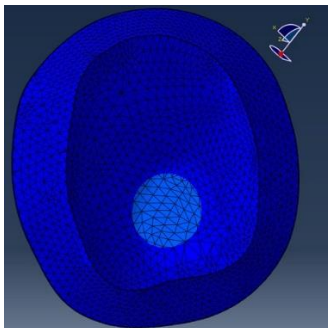
1.000 Hz



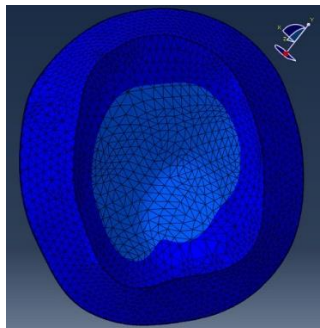
2.000 Hz



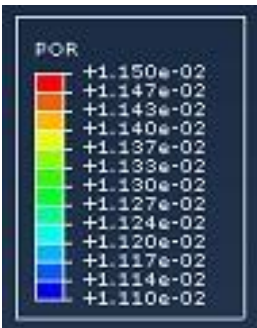
4.000 Hz



8.000 Hz



16.000 Hz



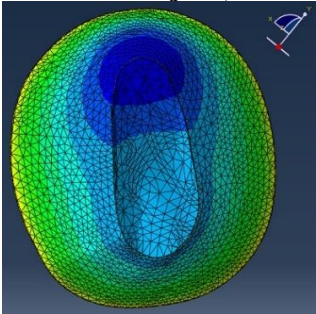
Legenda [Pa]

Simulação 3D:

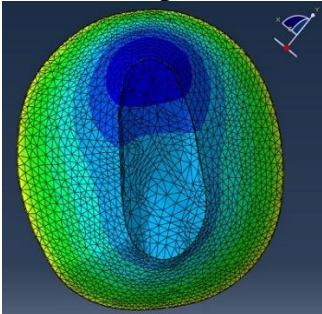
Espessura da PA: Maior

Veículos: V1, V2, V3, V4 e V5

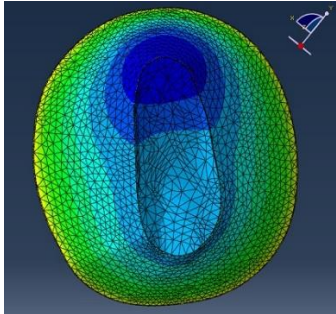
Pavimentos: Lajota, Paralelo, Asfalto e sem pavimento



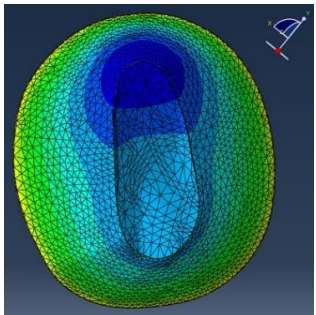
16 Hz



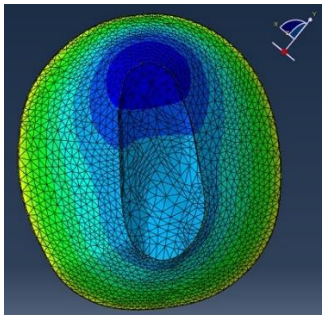
31,5 Hz



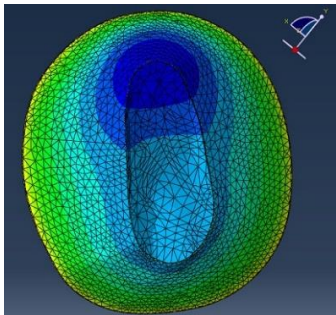
63 Hz



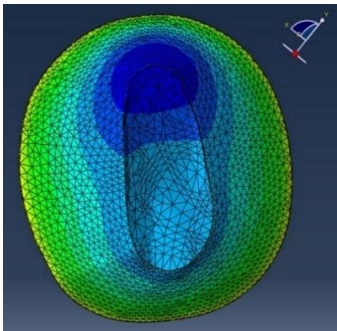
125 Hz



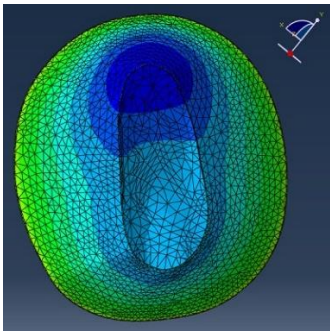
250 Hz



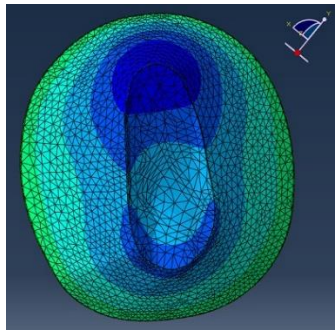
500 Hz



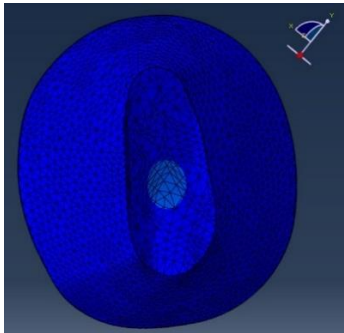
1.000 Hz



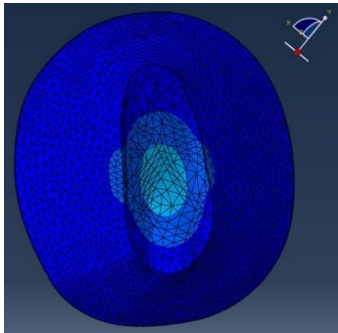
2.000 Hz



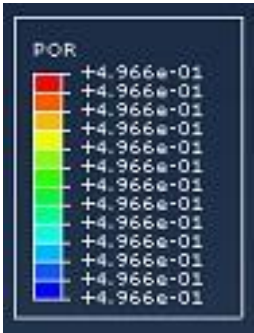
4.000 Hz



8.000 Hz



16.000 Hz



Legenda [Pa]